

**Université de Montréal**

**Détection et contrôle de l'indice d'intérêt dans support  
publicitaire**

par

**Maxime Isabelle**

Département d'informatique et de recherche opérationnelle  
Faculté des arts et des sciences

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures  
en vue de l'obtention du grade de  
Maître ès sciences (M.Sc.)  
en Informatique

31 août 2018



# SOMMAIRE

---

La mesure du niveau d'intérêt des consommateurs est une mesure importante en marketing. Les méthodes conventionnelles pour mesurer l'intérêt sont entre autres les entrevues de groupe ou individuelles et les sondages. Ces méthodes comportent plusieurs faiblesses que les méthodes en neuromarketing tentent de contourner. En effet, en prenant des mesures directement sur le cerveau des participants, plusieurs biais peuvent être évités tels que la verbalisation des idées.

Dans ce travail, un modèle a été réalisé pour prédire le niveau d'intérêt des participants à l'aide des mesures électroencéphalogrammes (EEG). Les tests sur le modèle montrent que le niveau d'intérêt peut être prédit avec une précision moyenne de 66%, une sensibilité moyenne de 45% et une F-mesure moyenne de 51%. De plus, quatre stratégies de convictions ont été testées pour observer leur effet sur l'intérêt des participants (rabais, comparaison, position et mauvais choix). Les résultats montrent qu'aucune de ces stratégies n'a eu d'effet significatif sur le niveau d'intérêt.

De plus, cette recherche montre que l'intérêt obtenu pour une publicité vidéo est majoritairement obtenu avec le contenu de celle-ci. En effet, l'intérêt porté envers une marque ou ses concurrents est moins importante que la publicité elle-même.

**Mots-clés :** Intérêt, EEG, RV, AI



# SUMMARY

---

Measuring the level of consumer interest is an important measure in marketing. Conventional methods of measuring interest include group or individual interviews and surveys. These methods have several weaknesses that neuromarketing methods try to avoid. Indeed, by taking measurements directly on the brain of the participants, several bias can be avoided such as verbalization of ideas.

In this work, a model has been created to predict the level of interest of participants using electroencephalogram (EEG) measurements. Tests on the model show that the level of interest can be predicted with an average accuracy of 66 %, an average sensitivity of 45 % and an average F-measure of 51 %. In addition, four conviction strategies were tested to observe their effect on participant interest (discount, comparison, position and wrong choice). The results show that none of these strategies had a significant effect on the level of interest.

In addition, the research demonstrates that the interest showed for a video advertisement is mainly gain by its content. In fact, the interest demonstrated for a certain brand or its competitors is less important than the advertising itself.

**Keywords :** Interest, EEG, RV, AI



# TABLE DES MATIÈRES

---

<b>Sommaire</b> .....	iii
<b>Summary</b> .....	v
<b>Liste des tableaux</b> .....	xi
<b>Liste des figures</b> .....	xiii
<b>Liste des sigles et des abréviations</b> .....	xv
<b>Remerciements</b> .....	1
<b>Chapitre 1. Introduction</b> .....	1
1.1. Contexte général .....	1
1.2. Problématique et objectif de recherche .....	2
1.3. Organisation du mémoire .....	3
<b>Chapitre 2. État de l’art</b> .....	5
2.1. Introduction .....	5
2.2. Méthode conventionnelle.....	6
2.2.1. Données qualitatives.....	6
2.2.2. Données quantitatives .....	8
2.3. Neuromarketing .....	10
2.3.1. Asymétrie frontale.....	11
<b>Chapitre 3. Notre approche</b> .....	15
3.1. Interface cerveau machine .....	16
3.2. Apprentissage automatique .....	18
3.3. Marketing .....	23
3.3.1. Attention, Intérêt, Désir et Action .....	25

<b>Chapitre 4. Méthode et expérimentation</b>	27
4.1. Méthodologie	27
4.2. Matériel	27
4.2.1. Emotiv epoc+	27
4.2.2. Oculus Gear VR	29
4.3. Expérience	29
4.3.1. Architecture	30
4.4. EEG-Measure	30
4.5. P360	32
4.6. Participants	33
4.7. Logiciel	33
4.8. Méthode d'analyse	34
4.8.1. Représentation	34
4.8.2. Extraction de l'indice d'intérêt	35
4.9. Limitation	35
<b>Chapitre 5. Résultats et discussion</b>	37
5.1. Capture de l'indice d'intérêt	37
5.2. Effet des stratégies de conviction	40
5.3. Analyse supplémentaire	41
<b>Chapitre 6. Conclusion</b>	45
6.1. Conclusion	45
6.2. Travaux futurs	46
<b>Bibliographie</b>	47
<b>Annexe A.</b>	A-i
<b>Annexe B. Protocole expérimental</b>	B-i
Pré-expérience	B-i
Expérience	B-i



Post-expérience.....	B-ii
<b>Annexe C. Formulaire Pré-expérience.....</b>	C-i
<b>Annexe D. Formulaire post-expérience.....</b>	D-i



# LISTE DES TABLEAUX

---

5. I	Résultat du K-PPV pour l'indice d'intérêt pour l'ensemble de validation. ...	38
5. II	Résultat du K-PPV pour l'indice d'intérêt pour l'ensemble de test.....	39



# LISTE DES FIGURES

---

3.1	Système interface cerveau-machine schématisé.....	17
3.2	Exemple de surentraînement et de sous-entraînement sur un ensemble de points. La courbe verte représente une fonction quadratique décrivant bien les données. Les points proviennent d'une fonction quadratique ayant une certaine incertitude, les points noirs et rouges représentent respectivement les points d'entraînement et de validation. Les courbes orange et bleues représentent respectivement un modèle surentraîné et un modèle sous-entraîné. ....	21
3.3	Erreur de classification en fonction de l'entraînement du modèle. La courbe bleue représente l'erreur de validation et en vert l'erreur d'entraînement. La ligne verticale représente la position du modèle du meilleur modèle possible.	22
3.4	Illustration de VP, VN, FP et FN.....	24
3.5	Modèle AIDA.....	25
4.1	Casque Emotiv.....	28
4.2	Position des capteurs pour le casque Emotiv. ....	28
4.3	Oculus Gear VR.....	29
4.4	Déroulement de l'expérience. ....	30
4.5	Architecture du système. ....	30
4.6	Logiciel EEG-Measure. ....	31
4.7	Sélection d'objets dans P360. La stratégie utilisée dans cet exemple est le rabais et l'objet ciblé est la troisième voiture (orange pâle).....	34
5.1	Entraînement de l'algorithme K-PPV en fonction des hyperparamètres $k$ et $p$ . Une recherche en grille a été effectuée sur ces deux paramètres.....	38
5.2	Récurrence de chacune des cibles.....	40
5.3	Indice d'asymétrie frontal alpha en fonction de l'intérêt. ....	41

5.4	Valeur du questionnaire big five pour chaque participant. Les participants sont ordonnés en fonction de la proximité de leurs mesures cérébrales durant l'expérience. ....	42
5.5	Intérêt moyen des participants durant l'écoute de vidéo publicitaire. ....	43
5.6	Intérêt moyen entre les vidéos des marques Apple et Samsung en fonction de la différence d'intérêt à priori des participants. ....	44

# LISTE DES SIGLES ET DES ABRÉVIATIONS

---

AIDA	Attention, Intérêt, Désire, Action
EEG	Électroencéphalogramme
ICM	Interface cerveau-machine
ICP	Indicateur clé de performance
IRMf	Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle
LDA	Analyse discriminante linéaire
K-PVV	K plus proche voisin
MEG	Magnétoencéphalographie
MLP	Perceptron multicouche
PE	Potentiel évoqué
SVM	Machine à vecteurs de support
TDNN	Time delay neural network
TEP	Tomographie par émission de positons
TFD	Transformé de Fourier discrète
RV	Réalité virtuel





# REMERCIEMENTS

---

J'aimerais remercier Claude Frasson pour m'avoir accepté dans son groupe de recherche HERON, groupe qui m'a fourni l'environnement nécessaire à la réalisation de ce projet.

J'aimerais aussi remercier l'entreprise Beam Me Up et le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada pour le financement de cette étude.

Finalement, j'aimerais remercier les collègues Amin shahab et Hamdi Ben Abdesslem pour leur précieux conseils et leurs aide.



# Chapitre 1

---

## INTRODUCTION

### 1.1. CONTEXTE GÉNÉRAL

Il y a encore de cela que quelques années, l'idée d'aller chercher de l'information directement dans le cerveau des êtres vivants pour obtenir de l'information par rapport à leur pensée n'était que dans l'imagination des auteurs de science-fiction. Il est maintenant possible d'effectuer ce genre de tâche de nos jours, avec des appareils peu dispendieux et faciles d'utilisation.

Être en mesure d'obtenir de l'information directement du cerveau peut être utile pour une grande variété d'applications. À la base, les personnes cibles pour ces mesures étaient les personnes ayant le syndrome de déafférentation motrice (Locked-In-Syndrome) [36]. En effet, puisque les personnes atteintes par ce syndrome sont complètement lucides, mais incapables de bouger aucun muscle de leur corps (donc impossible de parler ou de pointer pour obtenir un service), aller chercher l'information qu'ils veulent transmettre directement dans leur cerveau leur permet de communiquer avec le monde extérieur et ainsi augmenter grandement leur qualité de vie. Un exemple d'outil de communication est le contrôle d'un clavier virtuel utilisant uniquement les ondes cérébrales pour choisir la lettre désirée [22]. Ce type de clavier ne nécessite aucune contraction musculaire pour sélectionner une lettre sur le clavier et peut être utilisé par les personnes atteintes de déafférentation motrice.

Avec l'évolution de la science et de la recherche, les applications se sont grandement diversifiées en matière d'application et de clientèle cible. Un exemple est le jeu vidéo créé par la compagnie Neurable [14]. Ce jeu est fait avec l'aide de la réalité virtuelle et le but est de réussir à sortir de la pièce dans laquelle l'environnement nous a emmené, mais seulement en utilisant le cerveau pour contrôler les différents objets du jeu. De plus, il existe des jeux tels que Mindflex permettant de déplacer une balle dans un parcours uniquement à l'aide des ondes cérébrales du joueur [24].

Ces nouvelles technologies permettent de résoudre une grande variété de problématiques. Une problématique provenant du milieu du marketing concerne la collecte d'informations par rapport au client potentiel. Plus l'information proche d'un individu et plus la technique de vente ou le développement du produit de consommation pourra être adapté.

Toutes les compagnies tentent d'attirer l'intérêt des consommateurs sur leurs produits. C'est un aspect très important du marketing d'entreprise. Être en mesure de mesurer le niveau d'intérêt présenté pour ces produits est tout aussi important. En effet, cette information permet d'estimer l'effort et le budget qui seront nécessaires pour obtenir l'intérêt désiré. Le travail et l'argent investis pour augmenter l'intérêt, tel que les campagnes publicitaires, peuvent être phénoménaux. De plus, avoir une mesure de l'intérêt pour les jeunes entreprises est aussi une mesure primordiale pour le développement de l'entreprise, permettant de se situer sur le marché et potentiellement de s'ajuster si l'intérêt du public est trop faible.

La connaissance de l'intérêt de son public cible peut être utile dans une grande variété de situations. En effet, il est possible d'utiliser cet outil pour aider à la création de matériel publicitaire. Cela peut aussi être utilisé pour le prototypage de nouveaux produits. Ces produits peuvent être un produit de consommation matériel ou un morceau d'art. Il serait aussi possible d'utiliser une mesure d'indice d'intérêt pour développer des scènes dans des jeux vidéo ou encore aider à la sélection entre plusieurs prises d'une même scène pour un film.

## 1.2. PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIF DE RECHERCHE

Les méthodes conventionnelles utilisées sur le marché pour déterminer le **niveau d'intérêt** des consommateurs sont entre autres les entrevues de groupe et les sondages. Plusieurs problèmes découlent de ces méthodes. Pour ce qui est des entrevues de groupe, les personnes sondées doivent verbaliser leur niveau d'intérêt face au stimulus présenté. Cela peut souvent être difficile à verbaliser et interpréter différemment selon la personnalité de l'orateur. En effet, une personne très expressive pourrait donner une impression d'avoir davantage d'intérêt pour un produit qu'une personne plus introvertie, alors que leurs niveaux d'intérêt réel sont similaires. De plus, une personne peut facilement donner une fausse information lors de la discussion. Cela peut provenir de plusieurs raisons, comme la pression sociale imposée par les autres participants ou simplement pour accélérer la discussion et obtenir la rémunération promise plus rapidement. Pour ce qui est des sondages, un participant peut facilement répondre de fausses informations pour accélérer la vitesse de remplissage de sondage. De plus, le remplissage du sondage, même si souvent facilité par l'utilisation de gradation, peut être embêtant lorsque l'on souhaite répondre de façon précise. En effet, il est souvent difficile de choisir entre deux gradations, ce qui affecte grandement les résultats.

Le neuromarketing [17], une récente branche de recherche utilisant les connaissances en neurosciences pour répondre aux problèmes de marketing, a répondu aux faiblesses des recherches en marketing conventionnelles par des mesures physiologiques (surtout cérébrales) des consommateurs. Plusieurs recherches ont été réalisées sur la détection du comportement d'approche et d'éloignement des consommateurs par rapport à un stimulus qui est présenté. Par contre aucune étude n'a encore été réalisée pour déterminer directement l'intérêt d'un consommateur par une mesure cérébrale.

Les deux objectifs de cette recherche viennent du fait qu'aucun indice d'intérêt n'a encore été créé dans la littérature :

1. Déterminer un indice d'intérêt à partir des mesures EEG d'un usager.
2. Voir s'il est possible d'utiliser des stratégies capables de convaincre l'usager. En d'autres mots, est-ce que certaines stratégies de conviction sont en mesure d'augmenter l'indice d'intérêt de l'usager.

L'indice d'intérêt pourra être utilisé comme un indicateur clé de performance (ICP) pour les compagnies. Le deuxième objectif permettra de déterminer quelle stratégie de conviction a le plus grand effet sur l'intérêt d'un consommateur.

Cet outil de mesure d'intérêt est utilisable avec tous appareils de mesure EEG, et intégré facilement à une grande variété de logiciels. La précision des résultats dépendra de la qualité du signal mesuré par le casque encéphalogramme et la similarité de la position des capteurs par rapport aux mesures faite dans cette expérience.

Pour réaliser ces objectifs, nous avons procédé à une expérience avec des participants en réalité virtuelle dans laquelle une variété de produits leur ont été présentés. Ces objets étaient présentés avec une brève description de leurs caractéristiques ainsi que leurs prix. Durant cette expérience, un casque encéphalogramme a été placé sur la tête des participants pour mesurer leurs activités cérébrales. De plus, certaines stratégies de conviction ont été appliquées durant l'expérience pour tenter de convaincre et d'augmenter l'intérêt des participants envers un produit ciblé. Suite à l'expérience, les mesures des ondes cérébrales des participants ont été utilisées pour créer un indice d'intérêt. De plus, les stratégies de conviction ont été analysées pour déterminer l'effet réel de ces stratégies sur l'intérêt des participants.

### 1.3. ORGANISATION DU MÉMOIRE

Ce mémoire se divise en 6 chapitres.

- Le chapitre 2 *état de l'art* fait un résumé des méthodes utilisées pour faire une recherche en marketing. Les méthodes classiques et les nouvelles méthodes en neuromarketing sont discutées.
- Le chapitre 3 *notre approche* décrit l'approche utilisée ainsi qu'un résumé des notions utilisées dans cette recherche.

- Le chapitre 4 *Méthode et expérimentation* discute en détail de la méthodologie et du matériel utilisés dans cette étude.
- Le chapitre 5 *résultat et discussion* présente les résultats obtenus et les conclusions qui en découlent.
- Le chapitre 6 *conclusion* fait une synthèse de cette recherche.

# Chapitre 2

---

## ÉTAT DE L'ART

### 2.1. INTRODUCTION

Lorsqu'une entreprise veut prendre des décisions importantes (incorporation d'un nouveau produit, changement de logo ou de nom, etc.), elles sont généralement prises en fonction des données recueillies lors de la recherche en marketing. Une recherche en marketing est : «l'ensemble des activités qui visent à définir, à recueillir et à analyser de façon systématique des informations permettant d'alimenter le processus de décision en marketing afin de le rendre plus efficace» [3]. Pour recueillir de l'information, deux sources sont disponibles pour la recherche en marketing, les données secondaires et les données primaires.

Les données secondaires sont des données accessibles pour le chercheur, mais qui n'ont pas été recueillies pour la recherche qui est faite. Par exemple, une compagnie de jouet pour enfants se demandant où construire sa nouvelle succursale pourrait utiliser les données collectées par la communauté métropolitaine de Montréal donnant la population d'enfants âgés entre 0 et 14 ans. Ainsi, les informations qui ont été recueillies par la communauté métropolitaine de Montréal peuvent donner des informations pertinentes pour la décision de l'entreprise malgré le fait que ces données n'ont pas été prises initialement pour répondre au problème que la compagnie de jouet rencontre.

L'avantage des données secondaires est leur facilité d'accès et le peu de temps et d'argent nécessaire pour en avoir accès. En effet, puisque les données sont déjà recueillies, le chercheur n'a pas à faire des sondages ou des expériences pour obtenir des données. Dans l'exemple précédent, les données secondaires sont gratuitement accessibles sur le site internet de la communauté métropolitaine de Montréal [25]. Dans certains cas, les données secondaires sont suffisantes pour obtenir toute l'information nécessaire à la recherche. Par contre, puisque ces données n'ont pas été recueillies pour répondre au problème de recherche actuel, il se peut qu'une collecte de données doive être faite.

Les données recueillies spécifiquement pour le problème de marketing sont des données primaires. L'effort investi pour obtenir des données primaires est plus important que pour

les données secondaires, mais devrait être en mesure de fournir assez d'information pour conclure la meilleure décision à faire, puisque collecté précisément avec cet objectif.

L'utilisation des données secondaires et primaires peut être faite de façon conjointe pour augmenter la précision des résultats obtenus, ou guider la collecte de données primaires en fonction des données secondaires obtenues préalablement [3].

## 2.2. MÉTHODE CONVENTIONNELLE

Lors de la collecte de donnée (primaire ou secondaire), deux types de données sont possibles, les données qualitatives et les données quantitatives. Selon la problématique, un type de donnée peut être préférable. Si les données utilisées sont des données secondaires, le chercheur n'a aucun contrôle et doit utiliser les données comme elles sont. Par contre, pour une collecte de données primaires, il est important de connaître les différentes méthodes de collecte pour aller chercher le bon type de donnée le plus efficacement.

### 2.2.1. Données qualitatives

Les deux méthodes principales pour obtenir des données primaires qualitatives sont les entrevues de groupes et les entrevues individuelles [3].

Les entrevues de groupe sont un rassemblement d'environ 8 à 12 personnes dans une pièce pour participer à une discussion autour de la problématique de l'entreprise. Cette discussion est dirigée par un animateur, dont le rôle est de veiller à ce que tous les participants soient en mesure de partager leurs idées et opinions. Une méthode que peut utiliser l'animateur selon la dynamique de la conversation est la tâche individuelle, qui permet à tous de s'exprimer. Le rôle de l'animateur est aussi de s'assurer que la discussion reste sur la question posée et ne s'écarte pas trop de celle-ci. La sélection des gens qui participeront à l'entrevue de groupe est une étape clé pour la bonne réalisation de celle-ci. En effet, la sélection des participants doit être faite en fonction du problème. Une enquête sur une marque de motos devait interroger des individus ayant une moto, ou ayant l'intention d'en acheter une prochainement. De plus, il est généralement préférable de ne pas avoir de spécialistes dans le domaine, pour éviter que celui-ci impose sa vision des choses sur le reste du groupe. Un groupe peu hétérogène partageant des points communs aide aussi à la réalisation d'une bonne entrevue de groupe. Finalement, si le sujet de recherche ne l'oblige pas, avoir des participants qui ne se connaissent pas est préférable. Cela permet d'éviter les complications provenant des relations humaines. L'utilisation de l'entrevue de groupe vient de la prémisse que la stimulation apportée par la discussion aidera à augmenter le nombre total d'opinions et d'idées.

Les entrevues individuelles semi-dirigées sont des entrevues faites de façon individuelle entre le participant et l'animateur. Cette méthode est utilisée lorsque le sujet de l'entrevue porte sur des aspects de la vie privée, tel que la sexualité. Ce type d'entrevue permet à



l'animateur de créer une certaine proximité avec le participant, ce qui permet une plus grande ouverture de celui-ci face à ces informations privées.

De façon générale, les entrevues de groupe et individuelles sont composées de questions et réponses entre l'animateur et les participants. Cette méthode est directe et fortement utilisée, par contre, lorsque le sujet à l'étude est difficile à verbaliser ou s'il y a de fortes chances que le participant ne répond pas de façon complètement honnête due à une barrière sociale ou psychologique, des techniques de projectiles peuvent être nécessaires.

L'incarnation est la méthode par laquelle un participant se doit de représenter un sujet (compagnie, produit, concept) avec une représentation (humaine, animal, musical, etc.). Par exemple, il serait possible de demander quel animal, quel type de musique serait une certaine entreprise, si celle-ci devait être représentée ainsi. Il est aussi habituel de demander les raisons du choix du participant.

L'association de mots est une méthode par laquelle le participant est encouragé à dire la première chose qu'il lui vient en tête suite aux mots dits par l'animateur. Il est nécessaire que cette réponse soit rapide pour éviter qu'une réflexion active du participant brise l'association de mots dans l'esprit de celui-ci.

L'utilisation de phrases ou d'histoire à compléter est une méthode par laquelle le participant doit compléter une phrase ou une courte histoire. Cette technique suppose que les sentiments du participant seront représentés dans l'histoire faite par celui-ci. Ce transfert d'émotion du participant aux personnages peut être fait de façon consciente ou non par le participant.

La recherche de données qualitatives peut être utilisée sous l'une des quatre façons suivantes : prélude aux données qualitatives, confirmation des données qualitatives , enrichissement des données qualitatives ou substitut aux données qualitatives [3].

En effet, les données qualitatives recueillies peuvent être utilisées comme prélude à une plus grande enquête. Les réponses obtenues servent alors à diriger le reste de l'enquête, grâce à la plus grande connaissance de la problématique à régler.

Il est aussi possible d'utiliser des données qualitatives pour confirmer les résultats obtenus avec des données quantitatives. Cela permet de voir si deux méthodes différentes donnent des résultats similaires.

De plus, il est possible de collecter des données qualitatives pour enrichir la compréhension du problème. Par exemple, si un sondage démontre que le nouveau logo de la compagnie déplaît à la majorité des personnes sondées, il serait alors possible de faire une entrevue de groupe avec une dizaine de personnes indiquant leur désaccord avec le logo pour obtenir les raisons de ce désaccord.

Finalement, l'utilisation des données qualitatives comme substitut aux données quantitatives est lorsque les données qualitatives se portent mieux dans ce type de problématique

que les données quantitatives. Par exemple, si l'on souhaite avoir des idées de nom pour notre compagnie, une étude qualitative est bien plus adéquate qu'une collecte de données quantitatives.

Un grand problème avec les entrevues (de groupe ou individuelle) vient du fait que le potentiel des participants à verbaliser ou écrire leur pensée et opinions par rapport à un sujet varie grandement d'un individu à l'autre.

En effet, le processus d'interrogation est un processus complexe qui nécessite plusieurs étapes psychologiques [3]. Tout d'abord, la question doit être interprétée par la personne interrogée. Cela dépend du contexte, car une même question peut être interprétée différemment dans deux contextes différents. De plus, la syntaxe utilisée pour la formulation de la question ainsi que l'intonation peut influencer l'interprétation d'une question. Ensuite, un effort mental doit être effectué par la personne pour produire une réponse. La réponse créée dépend de l'accessibilité de l'information dans la mémoire du participant, car l'information peut être oublié, non connu, ou difficile à produire mentalement (par exemple : le résultat d'un calcul ou l'épellation d'un mot). Lorsque la réponse est construite dans la tête de la personne interrogée, elle doit ensuite être formulée pour répondre au format de la question posée. Ainsi, la qualité de l'information fournie par le participant est influencée par le contexte dans lequel il se trouve et les étapes psychologiques entourant le processus d'interrogation [3].

De plus, le comportement d'une personne qui discute dans une entrevue n'est pas la même chose qu'une personne dans une réelle situation de consommation. Il est en effet difficile d'assurer que les informations obtenues par le témoignage des participants seront en mesure d'expliquer le comportement des consommateurs. L'interprétation des données est aussi une étape difficile avec les données qualitatives, puisque l'analyse nécessite une interprétation du chercheur.

### **2.2.2. Données quantitatives**

Pour l'obtention de données quantitatives, trois méthodes sont couramment utilisées en marketing : l'enquête, l'observation et l'expérience [3]. Ces trois méthodes peuvent servir individuellement pour effectuer la recherche, par contre il est conseillé (si le temps et le budget le permet) d'utiliser plus d'une méthode pour vérifier que les conclusions de recherche sont les mêmes peu importe la méthode utilisée. De plus, l'utilisation de plusieurs méthodes pour faire une recherche permet de compenser les désavantages et faiblesses d'une méthode avec les avantages et forces d'une autre.

**L'enquête**, aussi connue sous le nom de sondage, est la méthode la plus connue et utilisée en recherche en marketing [3]. Cette méthode consiste à faire répondre un grand nombre de personnes à un questionnaire. Le média utilisé pour faire le questionnaire peut varier

(poste, téléphone, internet) selon la situation et les préférences des chercheurs. L'ensemble de personnes qui seront contactées et qui répondront aux questionnaires représente un sous-ensemble de la population (appeler échantillon). Il est important que l'échantillon représente bien la population visée. De plus, il faut un nombre assez grand de participants dans cet échantillon pour être en mesure de généraliser les résultats obtenus à toute la population visée.

**L'observation** est la méthode par laquelle le chercheur ne posera pas directement ses questions aux participants, mais regardera le participant agir dans son état naturel pour conclure les réponses aux questions qu'il souhaite connaître. Cette méthode est généralement utilisée lorsque le chercheur ne peut pas faire confiance aux réponses qu'il obtiendrait, ou lorsque le sujet d'étude n'est pas en mesure de répondre. Par exemple, une étude sur de jeunes enfants ou des animaux ne permet pas d'utiliser des questions directes pour obtenir des réponses. Pour noter les observations, une grille préalablement déterminée peut être remplie ou l'utilisation de caméra vidéo peut être utilisée pour enregistrer les actions des participants. Un avantage de cette méthode est que le chercheur et son environnement ne créent aucun biais sur les actions du participant, puisqu'il est dans un environnement naturel de consommation et n'interagit pas avec le chercheur. Les mesures sur le comportement sont plus accessibles qu'avec une enquête, puisque le comportement est directement observé, plutôt que de devoir répondre à des questions en prédisant notre comportement le plus probable dans la situation étudiée. Les plus grands désavantages de cette méthode sont que les mesures sont basées uniquement sur ce qui est observable par le chercheur. Ainsi, le processus mental du consommateur et ses intentions ne peuvent pas être connus, car le participant ne les verbalise pas. De plus, l'opinion du chercheur est utilisée. En effet, l'observateur doit utiliser son jugement pour déterminer le niveau de propreté d'un établissement par exemple. Ce n'est pas le cas pour les observations objectives, telles que le nombre d'articles que le client a acheté.

Il existe plusieurs formes d'observation possible telles que l'observation mécanique, l'observation participative et la méthode des protocoles [3].

L'observation *mécanique* est l'observation qui est faite par des personnes ou des machines. L'observation mécanique est l'observation *classique* qui consiste à un ou plusieurs observateurs notant le résultat de leurs observations de client dans une situation de marketing. Il est parfois possible d'automatiser le processus à l'aide de machine. En effet, il serait possible d'enregistrer dans une base de données tous les articles qui sont achetés à une caisse grâce au scanneur de la caissière (plutôt que de les noter à la main par l'observateur).

L'observation *participative* est faite lorsque l'observateur participe activement dans le processus étudié. Par exemple, un chercheur voulant étudier une pêche en haute mer devra faire partie de l'expédition s'il souhaite recueillir des observations sur le processus. Cette forme

d’observation est habituellement utilisée lorsqu’il n’est pas possible de faire les observations sans être remarqué ou si le phénomène est plus facilement cerné grâce à la participation.

La *méthode des protocoles* est la méthode par laquelle le participant justifie ces actions oralement ou par écrit. Il est possible de recueillir ces intentions en temps réel avec les actions ou à la fin de la tâche, respectivement nommé la méthode des protocoles simultanés et la méthode des protocoles rétrospectifs. La méthode des protocoles est utilisée pour tenter d’obtenir les pensées et idées justifiant les actions, ce qui n’est pas accessible par les autres méthodes d’observation.

La dernière méthode, **l’expérimentation** est la méthode généralement utilisée lorsque l’on veut déterminer la relation de cause à effet entre les variables de notre problème. L’expérience doit être en mesure de respecter les trois conditions suivantes : montrer que la cause précède l’effet, montrer la covariance entre les variables et d’écarter toutes autres explications possibles. Dans une expérience, il y a une ou plusieurs variables indépendantes (aussi appeler facteur), ces variables sont celles contrôlées par le chercheur. La variable dépendante est celle dont le chercheur n’a pas de contrôle et qu’il doit mesurer. Les unités expérimentales sont les sujets sur lesquels l’expérience est faite. Par exemple, l’unité expérimentale pourrait être les différentes succursales d’une entreprise, sur lesquels les facteurs seront contrôlés pour observer ses effets sur la variable dépendante.

Pour que l’effet temporel de la cause à l’effet soit respecté, les valeurs possibles des variables indépendantes sont déterminées à l’avance, et de façon indépendante à la variable dépendante. La détermination de la covariance est directement extraite des résultats de l’étude. Ensuite, pour éliminer les autres sources d’explications possibles, la randomisation est utilisée. La randomisation est le processus par lequel les différentes valeurs des facteurs sont distribuées de façon aléatoire à travers des unités expérimentales. Cette méthode, si le nombre d’unités expérimentales est assez grand, permet d’éliminer l’effet des conditions différentes entre les unités expérimentales qui ne sont pas contrôlées dans l’expérience, car statistiquement les différentes conditions seront réparties de façon égale dans toutes les valeurs de facteurs testés. Bref, la randomisation sert à faire ressortir uniquement les effets des variables qui ont été contrôlées [30].

## 2.3. NEUROMARKETING

Le neuromarketing est l’étude des neurosciences appliquée au problème de marketing. L’étude du neuromarketing a été développée pour contourner les biais sociaux et psychologiques des participants lors des recherches en marketing. En effet, le consommateur a une tendance de donner la réponse qui est attendue. De plus, demander des explications pour un comportement qui est irrationnel est voué à l’échec. Aussi, le processus de consommation est un processus comprenant une grande partie d’action non consciente. Lors d’une étude

réalisée par North en 1999 [27], une musique française et allemande était jouée en alternance dans un magasin offrant des bouteilles de vin français et allemand. Les résultats de l'étude ont montré que l'achat de bouteille ayant la même origine que la musique qui jouait à ce moment est significativement plus élevé. Ce qui est intéressant est qu'une seule personne sur les 44 personnes ayant répondu au questionnaire suite à leur achat a mentionné la musique comme raison de leur choix de bouteille de vin lors de la question ouverte. De plus, uniquement 14% des répondants ont mentionné que la musique a eu un effet sur leur choix lors de leur réponse à cette question directe.

Le paradoxe du Pepsi est aussi un bon exemple du non conscient dans les décisions commerciales. En effet, lors de tests à l'aveugle, la marque de cola Pepsi est plus appréciée que la marque Coke, ou aucune préférence n'est faite par les participants. Par contre, lorsque la marque Coke est exposée aux consommateurs, cela change leur préférence et les consommateurs ont alors une plus grande préférence envers le Coke comparativement au Pepsi [19].

L'expérience de North et le paradoxe du Pepsi montrent bien que les consommateurs ne sont pas conscients de toutes les variables affectant leur habitude de consommation.

Les études en neuromarketing se penchent entre autres sur l'analyse d'image cérébrale pour être en mesure de mieux comprendre les sentiments, les processus cognitifs et le comportement des êtres humains. La collecte de mesures physiologiques tente de contourner les biais du non conscient et des émotions dans la prise de décisions.

Le neuromarketing utilise fortement des mesures cérébrales telles que les électroencéphalogrammes (EEG), la magnétoencéphalographie (MEG), l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (iRMf) et la tomographie par émission de positons (TEP), par contre, le champ de recherche ne se restreint pas uniquement à ces méthodes et utilise tous les outils physiologiques mesurables. Quelques exemples sont les mesures d'expressions faciales, des mouvements des muscles du visage, du mouvement des yeux, leurs fixations et dilatations (oculométrie), du rythme cardiaque et de la pression sanguine.

Une grande force du neuromarketing est la précision de ces mesures. En effet, l'utilisation de l'oculométrie simultanément à des mesures neurales, par exemple, permet d'associer les mesures avec un endroit précis d'observation. Il est alors possible de conclure quel aspect du stimulus présenté a des effets forts ou faibles sur l'utilisateur.

Bref, l'approche du neuromarketing est une méthode allant chercher directement les informations sur les signes physiologiques que le corps émet pour répondre à des questions marketings.

### **2.3.1. Asymétrie frontale**

Un modèle décrivant le comportement des humains a été développé sous la prémisse que notre comportement a évolué en fonction du résultat favorable ou défavorable d'une action. Ce modèle joint aux mesures EEG a créé l'indice d'asymétrie frontale [31]. Cette indice

d'asymétrie a ensuite été vérifié par plusieurs recherches [7, 8, 9, 11]. Les études montrent qu'une plus grande activation de la zone frontale gauche par rapport à la zone frontale droite reflète une tendance à l'approche ou un sentiment positif. Une plus grande activation de la zone droite par rapport à la zone gauche reflète une tendance à l'éloignement ou un sentiment négatif.

Il existe une relation inverse entre la puissance de la bande de fréquence alpha et l'activité dans le cortex cérébral. Ainsi, l'indice d'asymétrie mesuré avec les ondes alpha reflète l'inverse (grande activation dans le cortex frontal droit par rapport au gauche représente une tendance à l'approche).

Dans l'étude de Ohme en 2010 [28], les chercheurs ont fait l'analyse de l'indice d'asymétrie lors du visionnement de publicité vidéo présentant le même produit (télévision Bravia de Sony). Ces trois publicités vidéos ont un thème commun qui est la couleur exceptionnelle de l'appareil. De plus, chacune de ces publicités est divisée en trois sections : scène présentant les avantages du produit, scène présentant le produit et scène présentant la marque. Suite à l'analyse des résultats recueillis sur les participants, les chercheurs ont réussi à détecter une forte asymétrie frontale dans une seule vidéo. Cette forte asymétrie représente une grande approche envers cette vidéo, ce qui est le but des publicités. Ohme et Coll. conclut que la mesure d'asymétrie frontale peut être une bonne mesure pour évaluer le potentiel qu'une publicité possède pour créer une tendance d'approche chez le consommateur.

Une autre étude intéressante a été réalisée par Khushaba en 2013. L'expérience mesurait les bandes de fréquence des participants pendant qu'il notait (du préféré au moins aimé) différents craquelins en fonction de leurs trois caractéristiques : la forme, la saveur et la garniture. Les chercheurs ont été en mesure de montrer que la région frontale gauche (F3), la région temporale gauche (T7) et la région occipitale gauche (O1) sont les zones ayant la plus grande quantité d'information mutuelle avec les préférences de caractéristiques. La quantité d'information mutuelle entre une bande de fréquence d'un capteur et une caractéristique du craquelin indiqué donne l'information que la caractéristique du craquelin a une grande influence sur les mesures EEG du capteur en question. Ils ont ensuite été en mesure de déterminer que la forme des craquelins est la caractéristique qui influence le moins la décision du consommateur grâce à l'analyse de l'information mutuelle plus faible de façon générale entre les différents capteurs pour la forme, comparativement à l'information mutuelle générale des la saveur et la garniture.

Dans l'article de Suomala et Col. (2012), les chercheurs ont créé un modèle d'un parcours d'un client virtuel à l'aide de vidéos et d'images d'un achat dans un magasin avec l'aide d'un employé consultant. Les participants étaient ensuite encouragés à écouter les vidéos et images. Suomala et Col. ont déterminé que les participants regardant la vidéo se sont associés au personnage faisant la visite du magasin, grâce à l'activation du gyrus frontal inférieur (système de neurone miroir). Ils ont aussi été en mesure de voir que les participants avaient

un sentiment de sécurité à l'intérieur du magasin virtuel, ce qui augmente les chances d'achat du consommateur. Ils ont aussi été en mesure de déterminer que le sentiment de sécurité diminuait légèrement lors de la phase de l'achat. Le niveau de satisfaction des clients dans un magasin est très important, et ce en tout temps. Cette recherche conclut que les visites de magasins ou achat modélisés en vidéos ou en réalité virtuelle est une bonne technique pour obtenir des informations profondes, avec un petit nombre de participants.

Finalement, une étude réalisée par Postes Canada [5] sur la différence entre les stimulus publicitaires physique et numérique a utilisé l'asymétrie frontale et la charge cognitive pour déterminer lequel était le meilleur. La charge cognitive a été utilisée comme un indice pour déterminer la facilité de compréhension du message et l'indice frontal (la motivation) pour déterminer le caractère persuasif de l'annonce. Les conclusions de la recherche sont que les articles physiques sont plus faciles à comprendre que les articles numériques d'environ 20%. De plus, les mesures de l'indice d'asymétrie frontale démontrent que les publicités physiques sont plus persuasives que les numériques. L'étude a aussi mesuré la différence de motivation entre des publicités physiques ordinaires et des publicités physiques avec une caractéristique sensorielles (odeur et son). Les résultats montrent que l'odeur affecte plus la motivation que les sons, mais que les participants n'étaient pas en mesure de dire pourquoi ils avaient une meilleure réaction à l'article présenté.

En résumé, plusieurs méthodes conventionnelles de recherche en marketing sont utilisées pour obtenir des données primaires quantitatives (entrevue de groupe et entrevue individuelle) ou qualitatives (enquête, observation et expérience). Ces méthodes conventionnelles comportent des limitations que le neuromarketing tente de contourner. La verbalisation de ses sentiments n'est pas une tâche facile pour tous. Aussi, les participants ont plus de chance de donner la réponse qui est socialement acceptable. De plus, le non conscient est très présent dans le comportement des humains, et peut uniquement être déterminé par une expérience conçue intelligemment (North et Col. avec l'expérience des bouteilles de vin) ou en utilisant des mesures physiologiques. Ainsi, il n'est pas possible pour un participant d'expliquer ses actions si elles sont entraînées par des processus mentaux non conscients. Il est aussi possible que le participant ne veut tout simplement pas donner la vraie explication de son comportement.

De plus, le neuromarketing peut être un outil puissant pour obtenir un retour d'information en continu lors de la présentation d'un stimulus au participant. En effet, il n'est pas nécessaire de faire des pauses pour collecter de l'information verbale du participant, ou attendre à la fin de la tâche pour obtenir de l'information sur l'ensemble du stimulus présenté.

Le neuromarketing ne remplacera pas les méthodes de recherche en marketing conventionnelles. Par contre, le neuromarketing semble être en mesure de fournir des outils puissants pour compléter la collecte de données.





# Chapitre 3

---

## NOTRE APPROCHE

L'approche utilisée dans cette recherche suit la méthode utilisée en neuromarketing, soit utilisées les mesures des ondes cérébrales pour fournir des informations non accessibles ou plus précisément en comparaison avec les méthodes de recherche marketing conventionnelle. Les théories existantes sur l'approche et l'éloignement comportemental sont intéressantes et fortement utilisées dans la littérature, par contre, la recherche actuelle cherche à approfondir les connaissances sur la détection de l'intérêt par une mesure directe et non pas par l'intermédiaire de l'approche. Aucune recherche n'a actuellement été faite sur la détection directe de cette aspect important pour le marketing.

Pour ce faire, une expérience a été réalisée sur des participants tout en mesurant les signaux cérébraux de ceux-ci. Avec l'aide des mesures recueillies et de l'auto-rapport des participants sur le niveau d'intérêt qu'ils avaient pour chaque stimulus présenté, un indice d'intérêt a été déterminé. Un mélange de trois domaines a été nécessaire : l'interface cerveau machine (ICM), l'apprentissage automatique et le marketing. Les connaissances dans le domaine de l'ICM ont été utilisées pour la collecte de données sur les participants. Ensuite, l'analyse de ces données a été effectuée avec l'aide de l'apprentissage automatique, pour créer l'indice d'intérêt le plus précis possible. L'objectif principal de cette recherche portant sur le marketing, plus précisément sur le modèle AIDA [1].

L'utilisation de l'ICM, et plus précisément la prise de mesure EEG vient du fait que les effets des stimulus sur les ondes cérébrales sont très rapide et que l'utilisation de casque électroencéphalogramme permet de faire ces mesures avec précision. De plus, le fait de prendre des mesures physiologiques plutôt que laisser le participant répondre aux questions permet de réduire le biais humain et social que demande la verbalisation d'une réponse.

L'utilisation de l'apprentissage machine pour faire l'analyse des données recueillies et permettre la création de l'indice d'intérêt vient du fait que les mesures EEG comportent beaucoup d'informations par mesure. Dans toute cette information obtenue, une grande partie n'est pas intéressante pour l'analyse. Trier l'information importante de l'information

superflue serait extrêmement difficile pour un humain. Par contre, l'utilisation de l'apprentissage machine permet de laisser le système comprendre la structure des données du système par lui-même. De plus, il est aussi possible de faire de l'entraînement supervisé, car chaque mesure peut être associée à une cible d'intérêt.

Finalement, le modèle de marketing utilisé est un modèle relativement simple, mais qui a fait ses preuves durant les dernières années. Ce modèle est le modèle AIDA qui est encore fortement utilisé à ce jour [1].

### 3.1. INTERFACE CERVEAU MACHINE

Un système d'interface cerveau-machine est un système dans lequel les commandes sont prises directement sur le cerveau et ensuite converties pour réaliser une certaine commande. Le type de mesure faite sur le cerveau peut varier, en particulier, il est possible de mesurer des EEG, IRMf, MEG, etc. De plus, la méthode pour convertir le signal en commande peut être quelconque, entre autres en utilisant l'apprentissage automatique.

Il est possible de voir à la figure 3.1 un schéma résumant un ICM. Cette recherche ne se situe pas entièrement dans le domaine de l'interface cerveau-machine, par le fait que l'utilisateur ne fait pas de commandes avec le système, et ne reçoit donc aucun retour d'information. Par contre, la partie acquisition du signal et le traitement du signal se font exactement de la même façon que les systèmes ICM.

Lors de l'installation d'un système ICM, trois options sont possibles par rapport au niveau d'intrusion dans le patient. Ces trois options sont un système intrusif, semi-intrusif ou non intrusif.

Un système ICM **intrusif** est directement connecté à la matière grise de l'utilisateur à l'aide d'une opération au cerveau. Puisque les capteurs sont directement placés sur le cerveau, les systèmes ICM intrusifs sont les systèmes permettant d'obtenir les meilleurs signaux. Ce type d'installation est uniquement utilisé chez les patients ayant des problèmes de santé et nécessitant l'installation de ce type d'appareils, dus au risque attribué à l'opération.

Un système ICM **semi-intrusif** est un système où les capteurs sont placés à l'intérieur du crâne de l'utilisateur, mais à l'extérieur du cerveau. Cette méthode permet un compromis entre la précision d'un système intrusif et le niveau de risque encouru par l'opération d'un ICM intrusif.

Finalement, un système **non intrusif** dépose les capteurs sur le cuir chevelu du participant. Cette méthode donne logiquement les moins bons résultats spatiaux, en raison du transfert de l'information électrique à travers le crâne. Cette méthode a l'avantage de pouvoir être utilisée sur tous les utilisateurs et ne nécessite aucune formation professionnelle pour faire l'installation. Beaucoup de systèmes utilisent des capteurs enduits d'une solution saline

pour permettre une meilleure connexion avec le crâne, malgré le fait que des systèmes secs existent aussi.

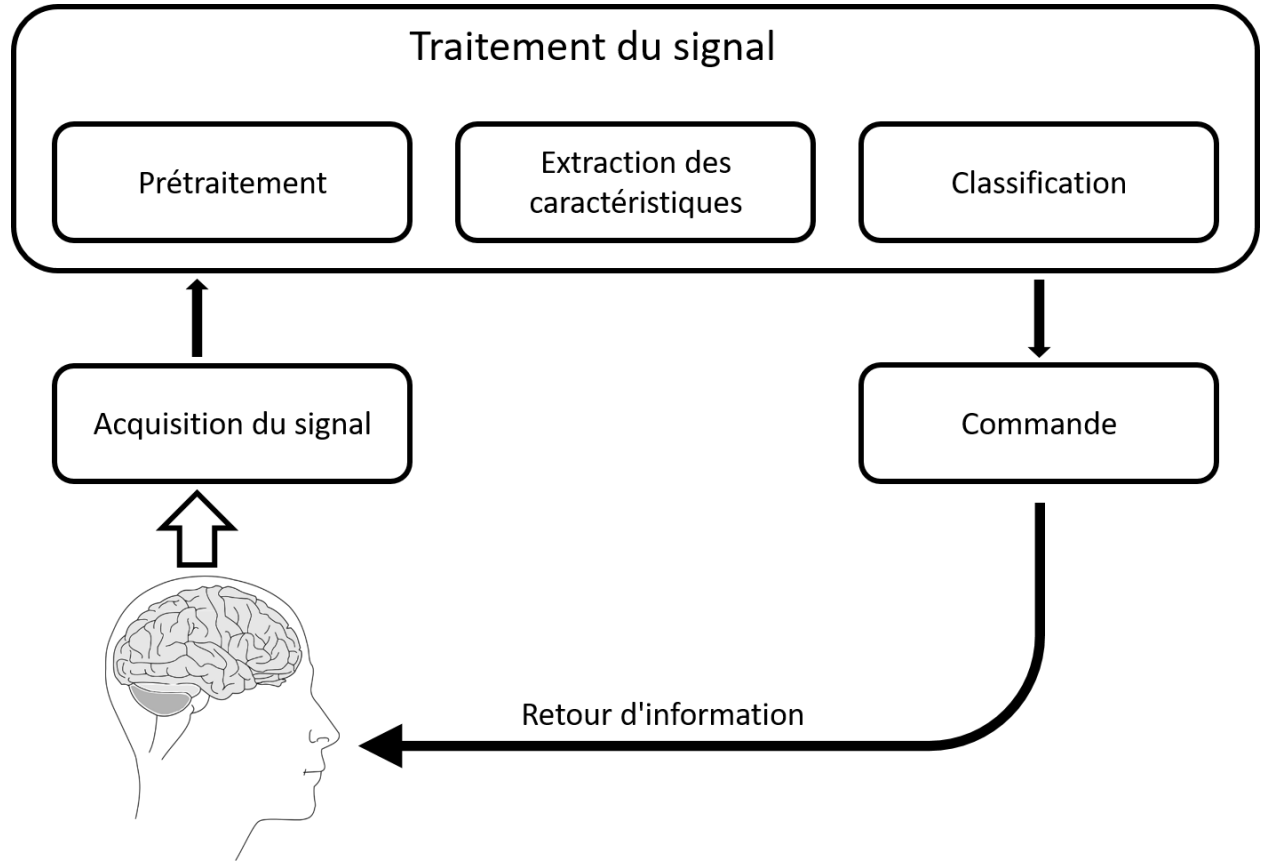


FIGURE 3.1. Système interface cerveau-machine schématisé.

Lors de la prise de mesure par EEG, uniquement l'intensité du signal électrique est mesurée en fonction du temps. Il est alors possible d'utiliser la transformation de Fourier pour transformer les mesures provenant du domaine temporel dans le domaine des fréquences. L'expression mathématique de la transformation de Fourier d'un signal  $x(t)$  avec  $t \in \mathbf{R}$  est :

$$X(\nu) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-i2\pi\nu t} dt \quad (3.1.1)$$

où  $t$  représente le temps et  $\nu$  représente la fréquence.

Cette définition mathématiquement exacte ne peut pas être utilisée avec les mesures EEG, car la mesure du signal ne peut pas être faite sur un intervalle de temps infini, le signal  $x(t)$  doit être stationnaire sur cet intervalle et les mesures faites sur le crâne sont discrètes. Pour éviter ces problèmes, l'utilisation de la transformation de Fourier discrète (TFD) sur des sous-intervalles du signal complet doit être utilisée. La supposition que le signal est stationnaire doit être faite sur ce sous-intervalle. Supposons maintenant que  $x[n] \quad n = 0, \dots, N-1$  est le

signal discret mesuré à partir du signal continu  $x(t)$ . La transformation de Fourier discrète est définie comme [12] :

$$X[\nu] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{\frac{-i2\pi kn}{N}} \quad \nu = 0, \dots, N-1 \quad (3.1.2)$$

Les scientifiques, tels que Hans Berger [16], ont rapidement remarqué que certains rythmes d'oscillation peuvent refléter notre état mental. En effet, M. Berger a remarqué le grand écart entre certaines oscillations pour les participants ayant les yeux ouverts ou fermés. Il nomma ce rythme alpha. Par la suite, plusieurs autres bandes de fréquence ont été déterminées selon leur fonction et la localisation dans le cerveau de celle-ci. Les intervalles de ces bandes de fréquences varient légèrement selon les différents ouvrages, mais sont séparés environ de la façon suivante [12] :

- Delta (0.5 - 3.5 Hz)
- Theta (3.5 - 7.5 Hz)
- Alpha (7.5 - 12.5 Hz)
- Beta (12.5 - 30 Hz)
- Bas Gamma (30 - 60 Hz)
- Haut Gamma (80 - 120 Hz)

Pour connaître la valeur des différentes bandes de fréquence sur un intervalle, il faut tout d'abord appliqué une transformation de Fourier sur cet intervalle. Puis sommer les valeurs obtenues entre les intervalles correspondant à chacune des bandes. De façon générale, les analyses faites dans le domaine de ICM sont faites à l'aide des bandes de fréquence. Certains paramètres ont été créés à partir de ceux-ci, entre autres en prenant le ratio entre deux bandes ou l'indice d'asymétrie (différence entre puissance gauche et droite d'une bande)

### 3.2. APPRENTISSAGE AUTOMATIQUE

L'apprentissage automatique est un champ d'étude qui permet à l'ordinateur d'apprendre et de s'améliorer dans une certaine tâche à l'aide de données, sans toutefois que les étapes soient programmées à l'avance.

Deux grandes catégories se distinguent dans l'apprentissage automatique : apprentissage supervisé et apprentissage non-supervisé.

L'apprentissage **supervisé** est fait lorsque les données accessibles pour l'entraînement du système sont étiquetées. Par exemple des photos de chiens et de chats dont le nom de chaque image serait l'animal représenté sur la figure. Deux problèmes classiques de l'apprentissage supervisé sont la classification et la régression. La première cherche à trouver dans laquelle

des catégories (classes), une certaine donnée fait partie. Ensuite, un problème de régression tente plutôt d'estimer une valeur la plus proche possible de la valeur étiquetée.

L'apprentissage **non-supervisé** intervient lorsque les données utilisées pour l'apprentissage ne sont pas étiquetées. Deux problèmes classiques sont le partitionnement des données et la réduction de dimensionnalité. Le problème de partitionnement a pour objectif de diviser toutes les données en un certain nombre de groupe fini (comportant de similaires caractéristiques). Le second problème sert à réduire le nombre de caractéristiques utilisé dans un certain problème, en gardant uniquement les caractéristiques les plus essentielles.

Dans la recherche actuelle, seul l'apprentissage supervisé de type classification est utilisé, puisque chaque mesure possède une étiquette. La théorie suivante s'appliquera donc aux problèmes d'apprentissage machine de type apprentissage supervisé de classification.

Pour entraîner un modèle, il faut fournir des exemples à l'algorithme. Ces exemples doivent être mis sous forme vectorielle (ou matricielle) pour que le système puisse les utiliser. Un exemple de représentation est le sac de mots («bag of words»). Cette représentation est utilisée pour représenter du texte sous forme vectoriel. Le principe est de prendre un vecteur aussi long que le nombre de mots de la langue utilisés dans la phrase. Ensuite, on note dans ce vecteur le nombre de récurrences d'un certain mot. Ainsi, l'élément  $i$  représente le nombre de fois que le  $i$ ème mot du dictionnaire apparaît dans le texte.

Le but de l'entraînement d'un système apprentissage machine est d'être en mesure de faire des prédictions sur de nouveaux exemples que le système n'a pas encore vus. Si le système ne pouvait faire que des prédictions sur des exemples déjà rencontrés, ce système n'aurait aucune utilité. Ainsi, parmi tous les exemples accessibles, deux ensembles doivent être formés. Le premier étant l'ensemble d'entraînement sur lequel le système sera entraîné et l'ensemble de tests qui servira à mesurer l'efficacité du système entraîné.

Lors de l'entraînement, l'algorithme d'apprentissage optimise les paramètres ajustables du modèle de sorte à minimiser la fonction de perte choisie. En général, pour un problème de classification, la fonction de perte généralement utilisée est l'erreur de classification  $L((x,y), f) = I_{f(x) \neq y}$ , où  $x$  et  $y$  sont respectivement l'entrée et sont étiquette,  $f$  est la fonction de décision et  $I$  est la fonction caractéristique. Ici  $f(x)$  représente la prédiction du système, et il est donc clair qu'une mauvaise prédiction augmente la fonction de perte (valeur de 1) comparativement à une bonne classification (valeur de 0). En plus des paramètres optimisés par l'algorithme d'apprentissage certains paramètres doivent être déterminés préalablement à l'entraînement, ces paramètres sont appelés des hyperparamètres<sup>1</sup>. Pour être

---

1. Certains modèles d'apprentissage machine ne possèdent aucun hyperparamètre.

en mesure de choisir de bons hyperparamètres, il est possible de diviser notre ensemble de données en trois, un ensemble d'entraînement, un de validation et un de test. Les ensembles d'entraînement et de test gardent le même rôle. L'ensemble de validation sert à mesurer la performance du système en fonction des hyperparamètres choisie.

Lors de l'entraînement d'un modèle, il existe le problème de surapprentissage et de sous-apprentissage. Le problème de surapprentissage apparaît lorsque le système commence à mémoriser les exemples qui lui sont présentés, il devient alors très performant pour prédire la classe de l'ensemble d'entraînement. En mémorisant les données, il y a une perte de généralisation et la performance sur l'ensemble de validation devient très mauvaise. Le problème de surapprentissage survient généralement quand la complexité du modèle<sup>2</sup> est trop grande par rapport aux données utilisées.

Dans le cas du sous-apprentissage, le modèle ne possède pas la complexité nécessaire pour apprendre les caractéristiques des données utilisées. Le sous-apprentissage sera accompagné par une mauvaise performance sur l'ensemble d'entraînement et de validation.

Les figures 3.2 et 3.3 illustrent le problème de surapprentissage et de sous-apprentissage. Il est possible de voir à la figure 3.2 que le modèle en vert représente bien la forme générale de toutes les données (entraînement et validation) même si le modèle a uniquement été entraîné sur l'ensemble d'entraînement. La courbe orange représente un exemple de surentraînement, car le modèle prédit parfaitement tous les points d'entraînement grâce à sa grande complexité (polynôme de haut degré). Par contre, ce modèle est bien loin des données de validation. Pour ce qui est de la courbe bleue, sa complexité étant trop faible (polynôme de degré 1 (linéaire)), le modèle est incapable de bien décrire les données d'entraînement et de validation.

La figure 3.3 représente un comportement typique de l'erreur d'entraînement et de validation pour un système durant son entraînement. Au début de l'entraînement, le modèle est en sous-apprentissage, car il possède une grande erreur d'entraînement et de validation. Lorsque le système a subi trop d'étape d'entraînement (grandes valeurs sur l'axe des abscisses), le système est en surapprentissage, car le modèle fait une excellente prédiction sur l'ensemble d'entraînement, mais devient de moins en moins bon pour les données de validation<sup>3</sup>. Entre ces deux extrêmes (sous-entraînement et surentraînement) se trouve l'entraînement le plus ajusté (représenté par la ligne verticale). Le meilleur modèle se trouve sur le minimum de la courbe d'erreur de l'ensemble de validation.

Lorsque la dimensionnalité des entrées du système est grande, il est souvent nécessaire de faire de la sélection de caractéristiques. Le but de cette méthode est de réduire la dimension des vecteurs d'entrée, sans toutefois réduire la performance du système. De plus, si certaines

---

2. Souvent un trop grand nombre de paramètres.

3. Le système commence à apprendre les exemples d'entraînement *par coeur*.

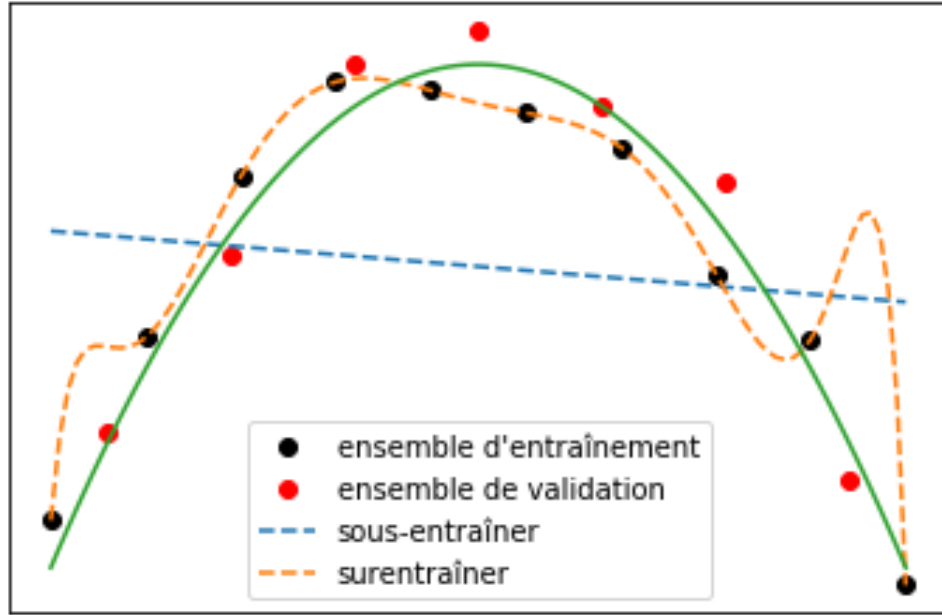


FIGURE 3.2. Exemple de surentraînement et de sous-entraînement sur un ensemble de points. La courbe verte représente une fonction quadratique décrivant bien les données. Les points proviennent d'une fonction quadratique ayant une certaine incertitude, les points noirs et rouges représentent respectivement les points d'entraînement et de validation. Les courbes orange et bleues représentent respectivement un modèle surentraîné et un modèle sous-entraîné.

caractéristiques des vecteurs d'entrée sont trompeuses, la sélection de caractère permet une augmentation de la performance. De plus, la sélection de caractéristiques permet de réduire le surentraînement en éliminant les caractéristiques redondantes. Finalement, le temps d'entraînement sur un modèle ayant des entrées de plus petite dimensionnalité est généralement plus rapide.

Il existe trois types d'algorithmes de sélection de caractéristiques : méthode de filtrage, méthode de l'emballage et la méthode intégrée.

La méthode de filtrage fait une sélection de façon indépendante au modèle d'apprentissage automatique utilisé. La sélection se fait uniquement avec les caractéristiques intrinsèques des données d'entrée, telle que la corrélation entre les caractéristiques.

La méthode de l'emballage teste différents sous-ensembles de caractéristiques, puis conserve le sous-ensemble donnant les meilleurs résultats. Plusieurs méthodes sont possibles, entre autres l'algorithme de recherche vers l'avant. Cette méthode sélectionne les nouvelles caractéristiques de l'entrée en ajoutant la caractéristique offrant la meilleure performance en partant d'un ensemble vide. Si la dimensionnalité du vecteur d'entrée est  $n$ , cette méthode teste donc  $n$  modèles ayant une seule caractéristique. La caractéristique ayant la meilleure

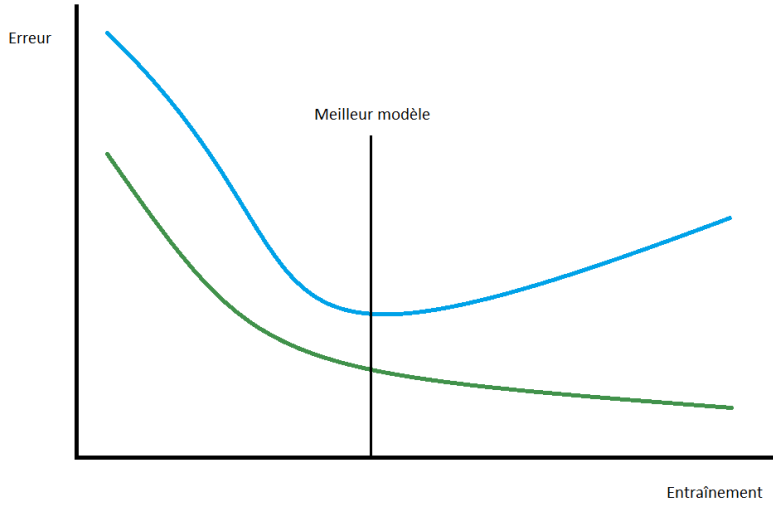


FIGURE 3.3. Erreur de classification en fonction de l'entraînement du modèle. La courbe bleue représente l'erreur de validation et en vert l'erreur d'entraînement. La ligne verticale représente la position du modèle du meilleur modèle possible.

performance sera gardée et  $n - 1$  modèles seront testé pour toutes les combinaisons possibles de deux caractéristiques. Ce processus continue jusqu'à obtenir la dimensionnalité désirée.

La méthode intégrée est une méthode de sélection de caractéristique qui est intégré au modèle utilisé et qui favorise l'entraînement de modèle dont le poids des caractéristiques moins importantes tendent vers zéro. Un exemple typique de sélection intégrée est la normalisation, qui ajoute un terme à la fonction d'erreur qui pénalise le modèle en fonction de sa complexité. Cela permet de restreindre l'amplitude des paramètres lors de l'optimisation et peut même permettre de mettre les coefficients des caractéristiques moins importantes à zéro. Ainsi, le modèle est entraîné sur la totalité des caractéristiques, par contre les coefficients très près de zéro et à zéro bloquent tout effet des caractéristiques moins importantes [2, 4].

Pour les données qui ont un aspect temporel, par exemple les mesures EEG, il est possible de les classifier de façon statique ou dynamique. Une classification statique considère chaque mesure faite dans l'intervalle temporelle comme un seul exemple. Par exemple, il serait possible de concaténer toutes les mesures faites dans l'intervalle de temps pour avoir une classification statique. Le désavantage de la représentation statique est qu'elle perd toute



l'information temporelle comprise dans les mesures. En effet, il serait possible de mélanger l'ordre des mesures sans affecter l'efficacité de la classification. La classification dynamique classifie plutôt un ensemble ordonné des mesures, avec par exemple, un réseau de neurones avec délai temporel (time delay neural network (TDNN)) ou un modèle de Markov caché. Par contre, la classification dynamique est peu utilisée dans le domaine ICM [15].

Pour mesurer l'efficacité d'un modèle d'apprentissage automatique, plusieurs mesures peuvent être faite. Les équations suivantes représentent trois exemples de mesures utilisées :

$$\text{précision} = \frac{VP}{VP + FP} \quad (3.2.1)$$

$$\text{sensibilité} = \frac{VP}{VP + FN} \quad (3.2.2)$$

$$\text{F-mesure} = 2 \times \frac{\text{précision} \times \text{sensibilité}}{\text{précision} + \text{sensibilité}} \quad (3.2.3)$$

Dans les équations ci-dessus, VP représente le nombre de vrais positifs, FP représente le nombre de faux positifs, VN représente le nombre de vrais négatifs et FN représente le nombre de faux négatifs. La figure 3.4 illustre le concept de vrai positif, faux positif, etc. pour une classification binaire.

### 3.3. MARKETING

Une approche utilisée pour structurer un problème de recherche en marketing est l'utilisation de modèle. Les modèles permettent de faire une représentation simplifiée du problème complet, en mettant l'emphasis uniquement sur les concepts fondamentaux et les relations entre ces concepts. Cela permet donc de comprendre le phénomène dans son ensemble de façon schématique. De plus, la structure donnée par le modèle permet de bien comprendre et d'expliquer simplement des problèmes pouvant être complexe.

Lorsqu'un modèle veut être utilisé dans un problème de recherche en marketing, trois options sont possibles : créer un modèle, utiliser un modèle existant sans modification ou utiliser un modèle existant avec modification.

La création d'un modèle peut être nécessaire dans une situation où aucun autre modèle existant représente bien le problème rencontré. Cette option est bien sûr la plus difficile et demande une très bonne compréhension du problème dans son entier.

L'utilisation d'un modèle existant sans modification est l'option qui demande le moins de ressources. De plus, les modèles existant dans la littérature sont habituellement testés et il est donc possible pour le chercheur de voir la valeur du modèle. Par contre, il est nécessaire de trouver un modèle qui représente bien le problème.

		Vrai étiquette	
		Vrai	Faux
Prédiction	Vrai	Vrai positif (VP)	Faux positif (FP)
	Faux	Faux négatif (FN)	Vrai négatif (VN)

FIGURE 3.4. Illustration de VP, VN, FP et FN.

L'utilisation d'un modèle modifié est l'intermédiaire entre les deux options précédentes. Il est possible d'utiliser un sous-ensemble de modèle en éliminant les aspects non pertinents pour le problème. Au contraire, il est aussi possible d'ajouter des aspects et/ou des relations entre les aspects qui semblent capitale pour le problème de recherche. Finalement, il est possible de prendre uniquement la structure d'un modèle et l'appliquer pour un autre problème.

Un modèle intéressant et simple d'utilisation est le modèle AIDA (Attention, Intérêt, Désir et Action), celui-ci est décrit ci-dessous. De plus, ce modèle a fait ses preuves et est toujours utilisé en entreprise. C'est le modèle utilisé lors de cette recherche. Le choix d'utiliser le modèle AIDA sans modification vient du fait que la création d'un modèle est une tâche complexe nécessitant une expertise profonde en marketing. De plus, le modèle n'a pas été modifié, car cette étude est faite dans un contexte général. Puisqu'il n'y a pas de problème de marketing à résoudre dans lequel certains aspects devraient être ajoutés ou retirés, aucune modification du modèle n'a été faite. De plus, l'utilisation du modèle sans modification a l'avantage d'avoir été testé et utilisé précédemment pour prouver sa capacité.

### 3.3.1. Attention, Intérêt, Désir et Action

L'acronyme AIDA tient pour attention, intérêt, désir et action. Le slogan original a été inventé par E. St. Elmo Lewis en 1898 et se traduit par "attirer l'attention, maintenir l'intérêt, créer le désir". Il a fallu quelques années pour qu'il ajoute le terme "obtenir une action" [10]. Ce modèle est représenté à la figure 3.5 où il est possible de voir la forme triangulaire de ce modèle. Ce triangle représente un entonnoir par rapport au nombre de personnes atteintes par l'étape mentionnée. En effet, une stratégie marketing (publicité, vidéo promotionnelle, dépliant, etc.) devrait attirer l'attention d'un grand nombre de personnes. Puis, de ces personnes, une certaine proportion aura de l'intérêt pour celle-ci. De ce nombre, une fraction aura du désir et une fraction encore passera à l'action par rapport au produit publicisé.

Aussi, ces étapes représentent les états mentaux par lesquels l'acheteur doit passer avant de faire une action. Ce modèle peut être décrit comme un modèle hiérarchique puisque l'acheteur doit passer par toutes les étapes avant de faire une action. De plus, ce modèle est de type stimulus-réponse, car il considère que les quatre étapes sont déclenchées à partir d'un stimulus (visuel, auditif, etc.)

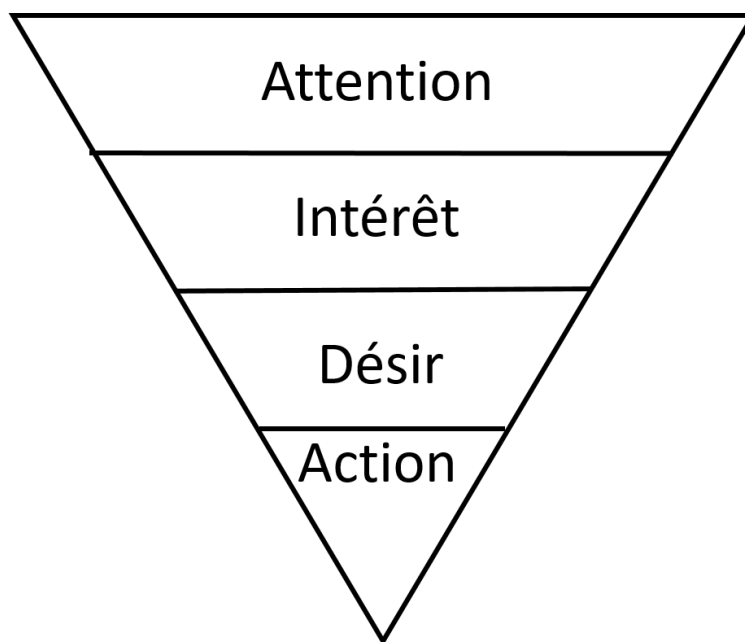


FIGURE 3.5. Modèle AIDA.

Définissons les quatre termes de l'AIDA selon le dictionnaire Larousse [37] :

Attention :

1. *Capacité de concentrer volontairement son esprit sur un objet déterminé; cette concentration elle-même.*
2. *Activité ou état par lesquels un sujet augmente son efficience à l'égard de certains contenus psychologiques (perceptifs, intellectuels, etc.), le plus souvent en en sélectionnant certaines parties ou certains aspects et en inhibant ou négligeant les autres.*

Intérêt :

1. *Sentiment de curiosité à l'égard de quelque chose, de quelqu'un; agrément qu'on y prend.*
2. *Ce qui, dans quelque chose, chez quelqu'un, retient l'attention par sa valeur, son importance.*

Désir :

1. Action de désirer, d'aspirer à avoir, à obtenir, à faire quelque chose; envie, souhait

Action :

1. *Fait ou faculté d'agir, de manifester sa volonté, en accomplissant quelque chose.*
2. *Manifestation concrète de l'activité de quelqu'un, d'un groupe.*

L'action recherchée par l'annonceur est souvent incitée par un appel à l'action (Call To action). L'appel à l'action est une courte phrase utilisant généralement des verbes d'action. Quelques exemples sont : Cliquez ici, Télécharger, Je m'inscris, Visiter notre site internet, etc. L'appel à l'action augmente la chance qu'une action soit prise, comparativement à un appel à l'action implicite dans le contenu du message.

Pour cette recherche, l'étape visée parmi les quatre étapes d'AIDA est l'étape de l'intérêt. La raison est que c'est une information très pertinente à savoir avant le lancement d'un produit ou d'une annonce publicitaire. Cette mesure peut donc être faite avant le lancement du produit, sur les différents prototypes pour déterminer celui avec les meilleures chances de succès sur le marché. De plus, cette étape est difficilement mesurable, comparativement à l'action où il est souvent possible d'obtenir le nombre de clics ou de visite produite par une certaine annonce.

# Chapitre 4

---

## MÉTHODE ET EXPÉRIMENTATION

### 4.1. MÉTHODOLOGIE

La méthode utilisée pour cette recherche a été de prendre les mesures EEGs des participants pendant que plusieurs objets (et leurs caractéristiques) leur étaient présentés un à un. L'expérience a été faite à l'aide de réalité virtuelle pour être en mesure de contrôler parfaitement ce que le participant est en mesure de voir. Ensuite, avec l'aide des commentaires recueillis dans un formulaire post-expérience, un système d'apprentissage machine a pu être entraîné pour obtenir le meilleur indice d'intérêt possible. Avec l'indice d'intérêt créé, une analyse de l'effet des différentes stratégies de convictions a été effectuée.

### 4.2. MATÉRIEL

Pour mesurer les ondes cérébrales des participants, l'appareil utilisé est le casque neural Emotiv Epoc+. L'expérience a été présentée à l'aide d'un casque de réalité virtuelle (RV) Oculus Gear VR, utilisant un téléphone intelligent Samsung S6. De plus, une manette sans fil Home a été utilisée pour contrôler l'environnement.

#### 4.2.1. Emotiv epoc+

Le casque Emotiv (figure 4.1) est un casque commercial peu dispendieux disposant de 14 capteurs placés selon le système international 10-20 [33]. L'emplacement des capteurs est montré à la figure 4.2.

Ce casque nécessite une solution saline pour permettre une connexion électrique entre les capteurs et le crâne du participant.

Le casque Emotiv fournit les cinq rythmes de fréquences suivant :

- Alpha (8-12 Hz)
- Bêta (13-30 Hz)
- Gamma (30-40 Hz)



FIGURE 4.1. Casque Emotiv

- Delta (0-4 Hz)
- Thêta (3-7 Hz)

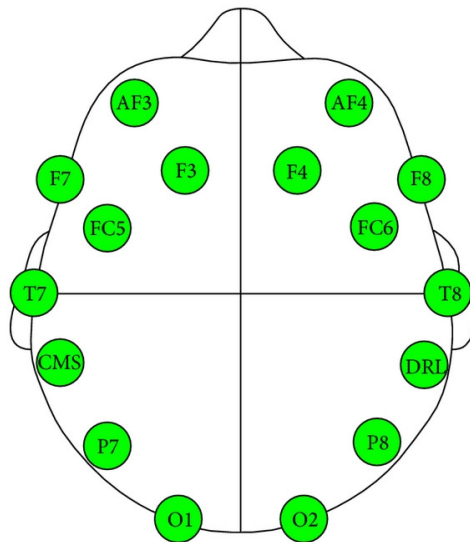


FIGURE 4.2. Position des capteurs pour le casque Emotiv.

Ainsi que les fonctions intégrées suivantes :

- Valence
- Engagement
- Excitation
- Frustration
- Méditation

De plus, ce casque neural permet de prendre les données brutes à un taux d'échantillonnage de 128 mesures par seconde.

### 4.2.2. Oculus Gear VR

L'utilisation d'un casque de réalité virtuelle permet d'avoir le contrôle total sur tous les stimulus présentés aux participants. Aussi, le participant est dans une pièce calme permettant à celui-ci d'avoir uniquement ce qui est présenté par la RV comme stimulus.

Le casque de réalité virtuelle Oculus Gear VR est jumelé avec un téléphone intelligent Samsung. Le téléphone utilisé lors des expériences est le Samsung Galaxy S6. Malgré l'utilisation conjointe du casque Emotiv et Oculus Gear VR, aucune modification de la sangle d'attache n'a été effectuée. La figure 4.3 montre le casque Oculus Gear VR.



FIGURE 4.3. Oculus Gear VR

## 4.3. EXPÉRIENCE

L'expérience complète peut être séparée en trois sections : pré-expérience, expérience et post-expérience. La figure 4.4 illustre schématiquement le déroulement de l'expérience dans son ensemble.

La **pré-expérience** est la partie où le participant est invité à répondre au formulaire de consentement (pouvant être trouvé dans l'annexe A), remplir le formulaire pré-expérience (se trouvant dans l'annexe C) et l'installation du matériel (décrit dans la section 4.2).

La partie **expérience** est le moment où le participant est immergé dans l'environnement virtuel et où la prise de mesure est faite. Les deux logiciels utilisés seront détaillés dans les sections 4.4 et 4.5.

La dernière partie qui est la **post-expérience** est la partie dans laquelle le matériel est désinstallé du participant, que celui-ci est invité à remplir le formulaire post-expérience et où l'utilisateur reçoit une compensation monétaire de 20\$ pour sa participation.

Le déroulement détaillé de l'expérience est résumé dans l'annexe B.

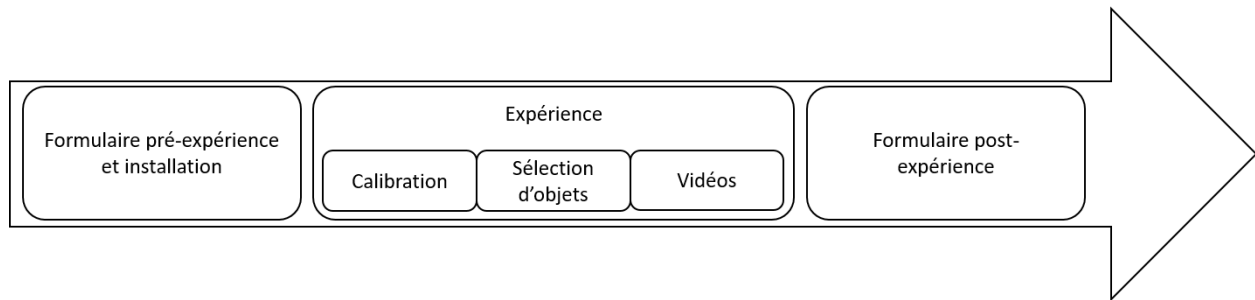


FIGURE 4.4. Déroulement de l'expérience.

#### 4.3.1. Architecture

L'architecture du système est illustrée dans la Fig. 4.5. Le casque Emotiv est contrôlé par le logiciel de mesure EEG-Measure. Ce logiciel mesure la puissance des différents rythmes pour les 14 capteurs et envoie la mesure par une connexion wi-fi à un environnement de réalité virtuelle appelé "P360". En même temps, l'environnement P360 est montré dans le casque Oculus Gear VR et enregistre dans une base de données les mesures et les informations de scène de P360.

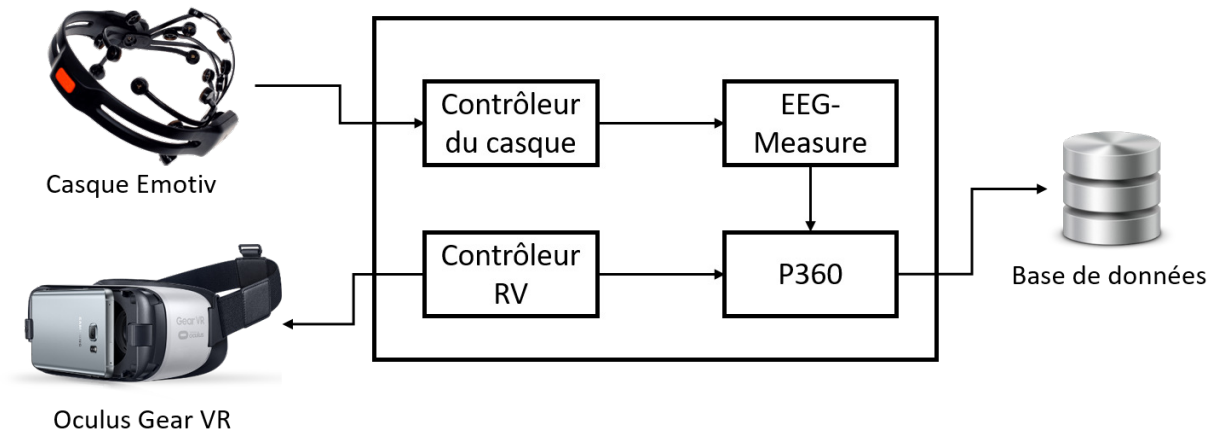


FIGURE 4.5. Architecture du système.

#### 4.4. EEG-MEASURE

Le logiciel EEG-Mesure est le logiciel contrôlant la mesure des ondes cérébrales de l'utilisateur. Ce logiciel sert à la gestion des mesures EEG, au synchronisme avec l'environnement P360 et l'envoi des mesures à l'environnement P360. Ce logiciel a été créé pour diviser la gestion des prises de mesure EEG et le contrôle des stimulus visuels présentés. De plus, les



mesures sont envoyées à l’environnement P360 avant d’être enregistré dans une base de données pour faciliter l’incorporation de nouvelles fonctionnalités, dans l’environnement P360, utilisant les mesures EEG en temps réel.

De plus, ce logiciel permet de suivre en temps réel la prise de mesure faite. En effet, comme montré sur la figure 4.6, le logiciel montre plusieurs informations par rapport au casque Emotiv utilisé. En effet, il est possible de voir si les connexions sont assez bonnes pour être en mesure de donner les fonctions intégrées (engagement, excitation, frustration, méditation). Aussi, il est possible de mettre l’adresse IP de l’appareil à laquelle les mesures seront envoyées. Puis, le logiciel montre la qualité de la connexion entre les capteurs et le crâne du participant grâce à un gradient de couleur. Finalement, EEG-Measure affiche le temps depuis le début de la prise de données, si le casque est ouvert, la qualité du signal Bluetooth entre le casque et la clé USB et la charge du casque.

Grâce à l’interface graphique de EEG-Measure, il est possible de bien positionner le casque sur la tête du participant pour être en mesure d’avoir un bon signal pour tous les capteurs. Aussi, en arrière-plan, ce logiciel prend en charge les mesures des cinq rythmes cérébrales (alpha, bêta, etc.), le résultat des fonctions intégrées ainsi que le temps de la mesure et envoie ces informations à l’adresse IP spécifiée par une connexion wi-fi.

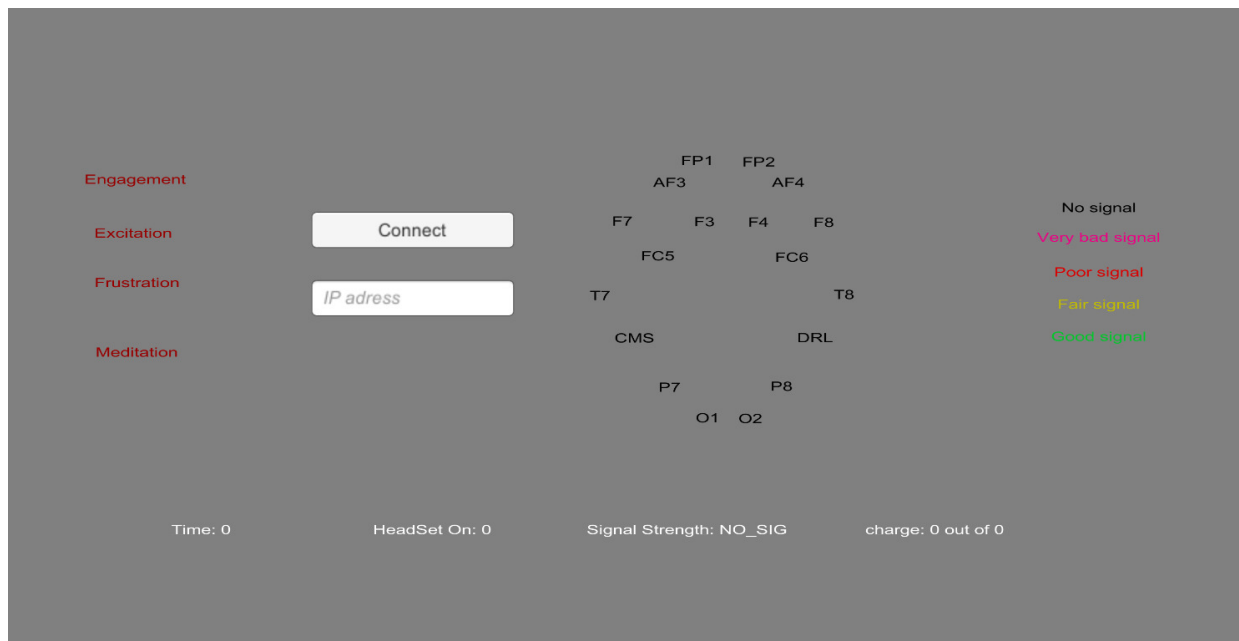


FIGURE 4.6. Logiciel EEG-Measure.

## 4.5. P360

L'environnement P360 est l'environnement visuel présenté au participant par l'intermédiaire du casque de RV Oculus. P360 est composé de trois sections : calibration, sélection d'objets et vidéos publicitaires.

Dans la partie de calibration, une mesure EEG de 10 secondes est effectuée avec un fond gris uniforme. Cette mesure est effectuée afin d'obtenir une base de référence pour le reste de l'expérience.

Dans la partie sélection d'objet, le participant dispose d'une certaine somme d'argent avec laquelle il peut acheter l'objet de leur choix parmi l'ensemble d'objets montrés. Trois différents ensembles d'objets ont été utilisés dans cette expérience : voitures, motos et fusils futuristes. Plus précisément, l'ensemble de voitures est composé de 4 différents modèles, l'ensemble de motos est composé de 5 différents modèles et l'ensemble de fusils futuristes est composé de 7 différents fusils.

Pour chacun de ces ensembles, l'utilisateur doit choisir 5 fois l'objet de son choix, chaque fois avec un montant d'argent différent et aléatoire. La différence entre les différentes sélections, en plus du montant d'argent accessible, est la stratégie de conviction utilisée. En effet, les cinq sélections sont faites avec les stratégies suivantes :

- Aucune stratégie : Le participant possède toujours une somme d'argent supérieur à l'objet le plus cher. Tous les objets sont présentés sans aucune stratégie de conviction. Ainsi, l'utilisateur peut choisir l'article de son choix sans aucune influence.
- Rabais : Un objet reçoit une réduction de 50% par rapport à son prix original.
- Comparaison : Un objet est déclaré être le meilleur sur une certaine caractéristique (par exemple la voiture la plus sûre, la moto la plus stable, etc.).
- Position : La position de tous les éléments de l'environnement est changée aléatoirement.
- Mauvais choix : Un article a son prix multiplié par 3. Cette stratégie ne devrait pas convaincre l'utilisateur pour l'objet visé par cette stratégie. En fait, l'intérêt dans l'objet visé par la stratégie devrait diminuer, mais l'intérêt pour les autres objets devrait augmenter, car ils semblent maintenant à petit prix en comparaison à l'objet ciblé par la stratégie.

Les cinq sélections faites par l'utilisateur sont faites de telle sorte que la stratégie 0 est toujours la première sélection. En effet, cela permet de présenter les objets de l'ensemble pour la première vision sans aucune stratégie. Ensuite, les quatre sélections suivantes sont faites avec les quatre autres stratégies, mises dans un ordre aléatoire.

La randomisation a été utilisée pour définir l'ordre dans lequel les ensembles d'objets (voiture, motos, fusil futuriste) sont présentés à l'utilisateur, ainsi que l'ordre des objets lors de chaque sélection.

Le processus de sélection d'un article est montré à la figure 4.7. Tout d'abord, un montant d'argent est déterminé de façon aléatoire et une stratégie est sélectionnée selon l'explication précédente. Ensuite, le participant doit faire défiler tous les articles de l'ensemble à l'aide de la manette. L'environnement P360 oblige un minimum de 5 secondes avant de permettre de passer à l'objet suivant et ne permet pas le retour en arrière. Le critère temporel avant de pouvoir passer au prochain objet a été introduit dans l'expérience pour obliger les participants à bien regarder tous les aspects de l'objet présenté. De plus, cela permet la prise de plusieurs mesures cérébrale pour chaque objet présenté.

Une fois tous les objets de l'ensemble vu par l'utilisateur, celui-ci est alors en mesure de sélectionner l'objet de son choix (en passant au suivant ou précédent, sans contrainte de temps imposée). Une fois la sélection faite, un nouveau montant d'argent et une stratégie sont sélectionnés et le participant peut alors faire une nouvelle sélection. Ainsi, lors de l'expérience, tous les participants font un total de 15 sélections, ce qui représente 3 ensembles  $\times$  5 stratégies.

Dans la dernière partie (vidéos publicitaires), cinq vidéos publicitaires sont présentées au participant, séparées de cinq secondes où l'environnement est gris uniforme pour ramener le participant dans son état normal. Les vidéos sont présentées dans un ordre aléatoire. Les vidéos publicitaires présentées mettent en valeur des téléphones cellulaires. Trois vidéos font la promotion de téléphone de marque Apple et deux vidéos font la promotion pour de téléphone cellulaire de marque Samsung.

## 4.6. PARTICIPANTS

Un total de 19 participants ont complété l'expérience. Ces participants sont âgés entre 18 et 54 ans, ayant comme moyenne 26 ans. L'expérience a été approuvée par le comité d'éthique de l'Université de Montréal. Le temps moyen pour compléter l'expérience en entier est d'environ une heure (remplissage de tous les formulaires, installation et calibration du matériel et l'expérience en réalité virtuelle).

## 4.7. LOGICIEL

L'analyse des résultats a été faite à l'aide de la librairie libre Python Sklearn [29]. Cette librairie a été créée en 2007 par David Cournapeau et rendu public en 2010. Depuis, un grand

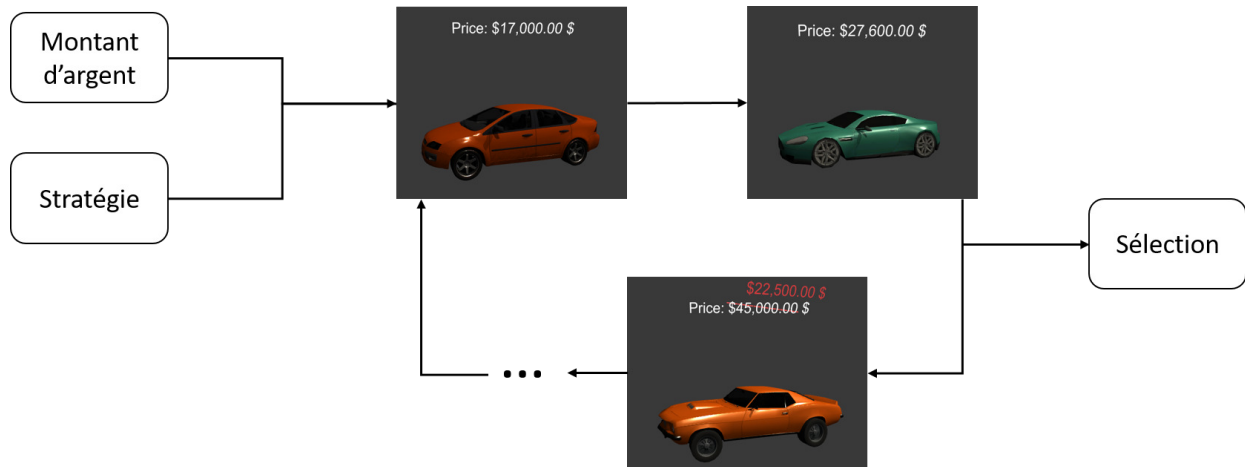


FIGURE 4.7. Sélection d'objets dans P360. La stratégie utilisée dans cet exemple est le rabais et l'objet ciblé est la troisième voiture (orange pâle).

nombre de personnes ont contribué à ce projet. La librairie Sklearn offre une variété d'outils pour la création et l'entraînement de modèle d'apprentissage automatique. De plus, Sklearn fournit des outils pour le prétraitement des données tel que la sélection de caractéristiques.

## 4.8. MÉTHODE D'ANALYSE

### 4.8.1. Représentation

Suite à la prise de mesure avec l'expérience, un indice d'intérêt a été créé à l'aide de l'apprentissage machine. Pour ce faire, les données d'entrée ont été représentées par un vecteur contenant les cinq bandes de fréquences (alpha, bêta, gamma, delta et thêta) pour les 14 capteurs disponibles (70 caractéristiques), des caractéristiques extraites par mapping explicite (68 caractéristiques), ainsi que les résultats du test big five (5 caractéristiques). Les étiquettes sur ces données sont données par l'intérêt obtenu par le questionnaire post-expérience.

Les caractéristiques extraites proviennent de fonction similaire à l'indice d'asymétrie frontale ainsi que le ratio entre les capteurs frontaux. Les fonctions similaire à l'indice d'asymétrie frontale sont des fonction faisant la différence entre le niveau d'activation entre l'hémisphère droit et l'hémisphère gauche du cerveau frontal. La différence a été calculée sur la même bande de fréquence pour le capteur gauche et droit. Pour ce qui est des ratio, le ratio entre différentes bandes de fréquence a été calculé sur les différents capteurs frontaux.

Le nombre de caractéristiques (143) étant très grand pour cette base de données, deux sélections de caractéristique ont été utilisées pour réduire la dimensionnalité du vecteur d'entrée. Tout d'abord, une méthode de sélection de caractéristique de type filtrage a été utilisé pour réduire la dimensionnalité à 55 caractéristiques en utilisant l'information mutuelle entre

les caractéristiques. Ensuite, la méthode de la recherche vers l'avant a été utilisée pour obtenir les caractéristiques finales. L'utilisation du filtrage a été faite dans le but d'augmenter la vitesse d'entraînement des modèles. En effet, la recherche vers l'avant est une méthode qui prend au minimum  $O(n!)$  opération d'entraînement pour un modèle comprenant  $n$  caractéristiques. Ainsi, en diminuant la dimensionnalité de 143 à 55, l'entraînement est bien plus efficace, mais garde tout de même un assez grand nombre de caractéristique pour une recherche vers l'avant donnant un bon modèle final.

De plus, les données ont été moyennées pour tous le temps de l'observation d'un même objet. Cela a été réalisé puisque les cibles obtenues par autodéclaration des participants donne uniquement l'intérêt moyen du participant sur l'ensemble de l'objet présenté. De plus, uniquement la première vision de l'objet a été utilisée pour faire les entrées. Cette restriction vient du fait que le même stimulus a été présenté à plusieurs reprise durant l'expérience aux participants et qu'il y a de forte chance que l'intérêt diminue comparativement au premier visionnement.

Par la suite, les données ont été divisées en trois catégories, les données d'entraînement, de validation et de test, respectivement environ 60% (11 participants), 20% (4 participants) et 20% (4 participants). En effet, la division en trois groupe des données a été faite par participant. La raison est que le système doit être en mesure de généraliser sur de nouveaux participants et non seulement sur de nouvelles mesures faites sur des personnes ayant déjà participé à l'expérience.

#### 4.8.2. Extraction de l'indice d'intérêt

Pour obtenir un indice d'intérêt, plusieurs modèles d'apprentissage machine ont été entraînés sur les données d'entraînement. Les hyperparamètres de ces modèles ont été optimisés à l'aide d'une recherche en grille et validé à l'aide des données de validation.

Les modèles suivants ont été testé et entraîné : K plus-proche-voisin (k-PPV), perceptron multicouche (MLP), forêt aléatoire, machine à vecteurs de support (SVM) et machine à vecteurs de support avec l'astuce du kernel, adaboost, analyse discriminante linéaire (LDA).

Le modèle ayant les meilleures résultats sur l'ensemble de validation a été testé sur l'ensemble de test.

### 4.9. LIMITATION

Pour cette recherche, des mesures EEG ont été effectuées sur des participants lors d'une expérience. Le nombre de participants a été restreint à 20 pour des raisons de temps et de budget (la participation était rémunérée). Un participant n'a pas complété l'expérience en entier, ce qui laisse des mesures sur 19 personnes. Ce nombre de participants est habituellement suffisant pour obtenir des résultats significatifs [34, 21], mais un nombre plus grand de participant permet en général d'avoir des résultats statistiquement plus concluants. De plus,

l'appareil utilisé lors de l'expérience pour les mesures neurales est le casque Emotiv Epoc. Ce casque est non invasif et comporte 14 capteurs. Le choix de ce casque a été fait pour plusieurs raisons. Tout d'abord, la mesure d'EEG sur des participants en santé doit être faite de façon non invasive, puisque les systèmes invasifs ou semi-invasifs comportent des risques à l'installation qui ne sont pas nécessaire de prendre pour ce type d'expérience<sup>1</sup>. Aussi, ce casque neural est facile d'installation, ce qui permet une installation consistante entre les expériences. Un plus grand nombre de capteurs aurait permis une plus grande collecte de données et une plus grande précision spatiale des mesures, par contre, cette augmentation de précision vient avec une complexité d'installation.

Une autre limitation de cette recherche vient du fait que les étiquettes utilisées pour l'entraînement des modèles d'apprentissage machine ont été obtenues par autodéclaration de l'intérêt pour les différents stimulus présentés. L'hypothèse que les participants ont bien classifié leur intérêt a été faite. Cette limitation n'a pas été en mesure d'être contournée, dû au fait que l'intérêt que porte un individu envers un objet dépend complètement de chaque individu. Il n'est alors pas possible de montrer une banque d'objets provoquant différents niveaux d'intérêt de façon contrôlée et connue.

Aussi, malgré le fait que le questionnaire demandait explicitement l'intérêt ressenti, il se pourrait que certains participants aient plutôt mesuré le niveau d'une autre métrique similaire, citons par exemple l'appréciation ou le désir.

Finalement, l'utilisation de la réalité virtuelle force les participants à concentrer leur attention sur les stimulus de l'expérimentation seulement. En effet, le contrôle de l'environnement a permis d'augmenter la corrélation des mesures cérébrales captées en rapport aux stimulus visuels présentés. Cependant, dans la vie de tous les jours, un grand nombre de stimulus publicitaires visuels ne capte pas 100% de notre concentration. Par exemple, les annonces présentées en parallèle sur un site web partagent l'attention de l'utilisateur avec le contenu de celui-ci. Ce partage de l'attention pourrait influencer les résultats de cette recherche dans les applications réelles.

---

1. Les expériences comprenant des systèmes invasifs ou semi-invasifs sont habituellement faites sur des personnes ayant déjà l'équipement installé pour des raisons de santé

## Chapitre 5

---

### RÉSULTATS ET DISCUSSION

#### 5.1. CAPTURE DE L'INDICE D'INTÉRÊT

Pour obtenir un indice d'intérêt, un algorithme d'apprentissage machine a été entraîné pour extraire cet indice. Pour ce faire, plusieurs représentations des données ont été réalisées, ainsi que plusieurs algorithmes d'apprentissage différent.

L'algorithme K-PPV a été entraîné avec les hyperparamètres suivants : la métrique utilisée est la distance de Minkowski,  $k$  représente le nombre de voisin et  $p$  représente le paramètre dans la distance de Minkowski. La distance de Minkowski entre le vecteur  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  et  $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$  est donné par l'équation suivante :

$$D(X, Y) = \left( \sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^p \right)^{1/p} \quad (5.1.1)$$

Suite à l'entraînement, le meilleur modèle obtenu comprenait les hyperparamètres  $k = 10$  et  $p = 1$ . Aussi, suite à la recherche vers l'avant pour la sélection de paramètre, les paramètres retenus par la méthode sont : la bande basse de bêta sur le capteur F4, la bande thêta sur le capteur O1 ainsi que le ratio entre la bande haute bêta et gamma sur le capteur AF3.

La figure 5.1 montre l'entraînement du système en fonction de ces hyperparamètres ( $k$  et  $p$ ). La recherche des hyperparamètres a été effectué par une recherche en grille pour  $k \in [2, 20]$  et  $p \in [1, 10]$ . Il est possible de voir que le meilleur modèle possède une sensibilité moyenne de 51.6%. Avant ce point, le système se trouve en situation de surapprentissage, puisque la précision moyenne sur l'ensemble d'entraînement est élevée et que la précision moyenne de l'ensemble de validation est basse. Il est aussi possible de voir que le système devient de plus en plus en situation de sous-apprentissage avec le nombre d'entraînement, car la précision moyenne du modèle diminue aussi bien sur l'ensemble d'entraînement que de validation.

La table 5. I représente les résultats de quelques métriques pour le meilleur modèle obtenu à la figure 5.1 sur l'ensemble de validation. La table montre qu'en moyenne, la précision est de 68%, la sensibilité est de 52% et que la F-mesure est de 56%. Il est aussi possible de voir

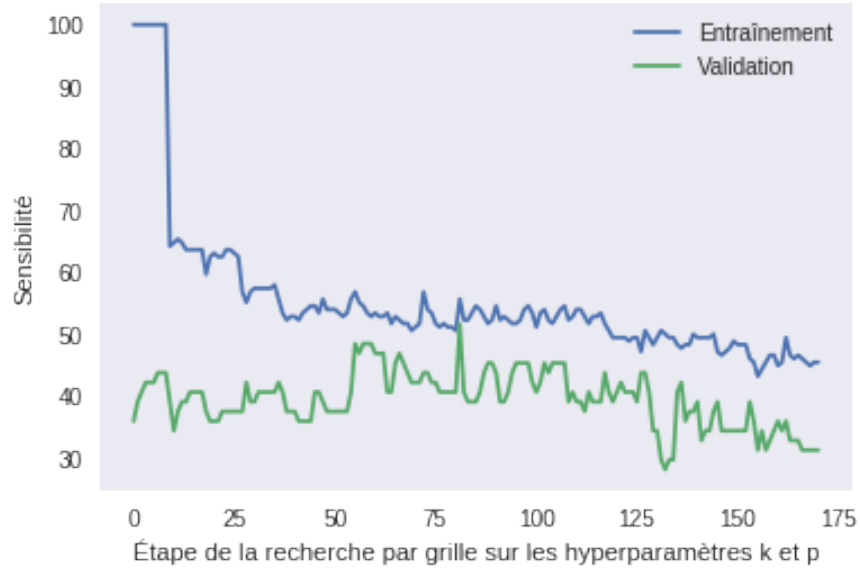


FIGURE 5.1. Entraînement de l'algorithme K-PPV en fonction des hyperparamètres  $k$  et  $p$ . Une recherche en grille a été effectuée sur ces deux paramètres.

qu'aucune prédiction pour la catégorie *extrêmement* n'a été faite pour tous les exemples de validation, il est donc peu probable que le système soit en mesure de déterminer l'intérêt extrême d'un usager vers un stimulus visuel.

TABLEAU 5. I. Résultat du K-PPV pour l'indice d'intérêt pour l'ensemble de validation.

Classe	Précision	Sensibilité	F-mesure	Support
<b>Aucune</b>	0.80	0.46	0.58	35
<b>Légèrement</b>	0.41	0.47	0.44	15
<b>Modérément</b>	0.10	1.00	0.18	1
<b>Grandement</b>	0.69	0.69	0.69	13
<b>Extrêmement</b>	0.00	0.00	0.00	0
<b>Moyenne</b>	0.68	0.52	0.56	64

La table 5. II représente les résultats des mêmes métriques, mais sur l'ensemble de test. Les résultats moyens pour la précision, la sensibilité et la F-mesure sont respectivement 66%, 45% et 64%. Il est possible de voir que la précision moyenne du modèle reste similaire, mais que la sensibilité et la F-mesure sont diminuées comparativement aux résultats sur l'ensemble



de validation. Cette table montre qu’aucune prédiction de la catégorie *extrêmement* n’a été faite aussi sur l’ensemble de test.

TABLEAU 5. II. Résultat du K-PPV pour l’indice d’intérêt pour l’ensemble de test.

Classe	Précision	Sensibilité	F-mesure	Support
<b>Aucune</b>	0.81	0.47	0.59	47
<b>Légèrement</b>	0.25	0.43	0.32	7
<b>Modérément</b>	0.21	0.33	0.26	9
<b>Grandement</b>	0.14	1.00	0.25	1
<b>Extrêmement</b>	0.00	0.00	0.00	0
<b>Moyenne</b>	0.66	0.45	0.51	64

La figure 5.2 représente le nombre de récurrence d’une catégorie dans l’autodéclaration des participants. Cette figure expose clairement qu’il y a de moins en moins d’exemples plus l’intérêt est grand. Cela peut être expliqué par le fait que le nombre de stimulus qui nous intéresse grandement ou extrêmement est beaucoup plus faible que le nombre de stimulus qui nous intéresse aucunement ou légèrement.

La distribution des exemples peut aussi expliquer les résultats obtenus dans sur l’ensemble de test. En effet, il est possible de voir une relation entre la précision sur les différentes catégories et le nombre d’exemples dans cette catégorie.

Ainsi, les mauvais résultats obtenus pour la classification de l’intérêt *extrême* proviennent probablement par le manque d’exemple dans cette catégorie. En effet, le modèle K-PPV a été entraîné avec  $k = 10$ , alors que le nombre d’exemples pour la catégorie *extrême* est inférieur à 10 (soit 8). Statistiquement, 5 exemples *extrême* ont été utilisé pour faire l’entraînement du modèle (60% des données totales ont été utilisées pour l’entraînement). Ainsi, pour classifier un nouvel exemple dans la catégorie *extrême*, il faut un exemple dont la moitié des plus proches voisins soient tous les exemples d’entraînement *extrême*.

La distribution des données n’a pas été une information qui a été utilisée lors de l’entraînement des modèles d’apprentissage automatique, puisque cette distribution ne peut pas être généralisée à la distribution de l’intérêt pour toutes les applications ou type de stimulus. Il se peut tout simplement que les stimulus présentés n’ont pas beaucoup intéressé l’échantillon de participants sélectionnés pour l’expérience. En effet, une expérience similaire présentant des

voitures de collection faite sur des participants assistant à une exposition de voiture pourrait donner une distribution inverse.

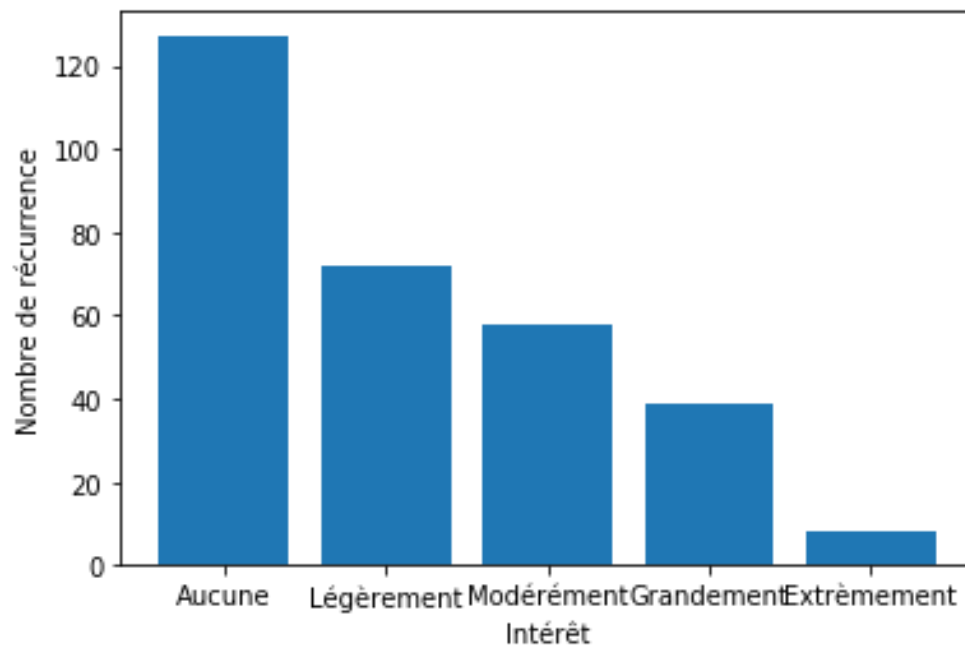


FIGURE 5.2. Récurrence de chacune des cibles.

Resultat pas fou peut etre expliquer par limitation

nb mesure plus grand pour faire indice intérêt probablement des mesure qui n'ont pas le même niveau pt des gens qui ne parle meme pas d'intérêt..

## 5.2. EFFET DES STRATÉGIES DE CONVICTION

Pour chacune des stratégies appliquées dans l'environnement P360 (rabais, comparaison, position et mauvais choix), un test ANOVA a été effectué pour voir si l'effet de la stratégie a une influence significative sur l'intérêt que portent les participants envers les stimulus présentés.

Les résultats montrent qu'aucune stratégie à une influence significative sur l'intérêt envers un stimulus. En effet, les valeurs de  $p$  obtenues pour les test ANOVA sont respectivement 0.49, 0.07, 0.16 et 0.97 pour les stratégies rabais, comparaison, position et mauvais choix. Il est possible de voir que la stratégie de la comparaison, est la stratégie la plus près d'avoir un effet significatif sur l'intérêt.

Il semble donc que le niveau d'intérêt que porte une personne envers un stimulus provient principalement de l'objet lui-même. Et il semble difficile de modifier ce niveau d'intérêt sans changer le stimulus en entier. Ainsi, les stratégies de conviction sont probablement plus

efficaces pour augmenter le niveau de désir ou d'action que porte un individu face à un produit.

### 5.3. ANALYSE SUPPLÉMENTAIRE

Une analyse a été effectuée pour voir si l'indice d'asymétrie frontale peut donner un bon indice d'intérêt. La figure 5.3 représente l'indice d'asymétrie frontale en fonction de l'intérêt autodéclaré des participants. La valeur moyenne de l'indice d'asymétrie frontal sont respectivement -0.184, 0.069, -0.09, -0.01 et 0.16 pour les catégories *aucune*, *légèrement*, *modérément*, *grandement* et *extrêmement*.

Il est donc possible de voir que l'indice d'asymétrie frontale ne peut pas être directement utilisé comme indice d'intérêt puisque la distribution de la valeur de l'indice est très similaire pour tous les niveaux d'intérêts mesurés.

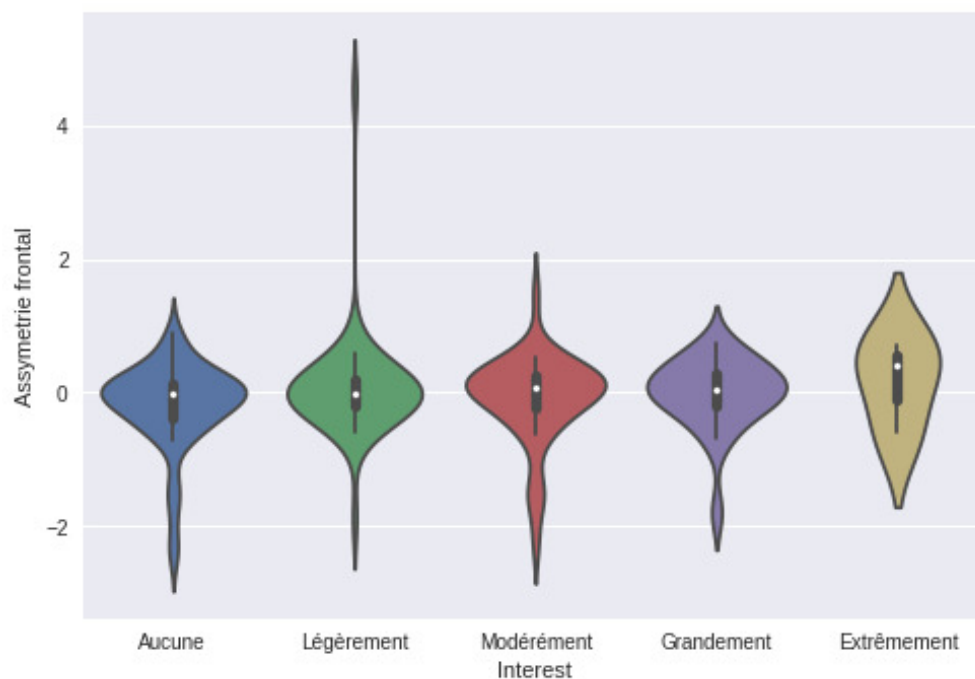


FIGURE 5.3. Indice d'asymétrie frontal alpha en fonction de l'intérêt.

Ensuite, la figure 5.4 représente la valeur des cinq mesures du big five (Extraversion, agréabilité, conscienciosité, neuroticisme et ouverture) en fonction de la proximité des mesures cérébrales faites sur les participants. Ainsi, les participant 10 et 13 ont les mesures cérébrales les plus près de tous les participants. Le participants ayant les mesures cérébrales les plus similaire au participant 13 est le participant 2. Cette méthode continue jusqu'au participant 17. Il est possible de remarquer que le questionnaire big five n'est pas un bon

indicateur par rapport au mesure d'intérêt. De plus, cela est confirmé en observant les caractéristiques sélectionnées par les algorithmes de sélection de caractéristiques, puisque aucune valeur de big five n'en font partie.

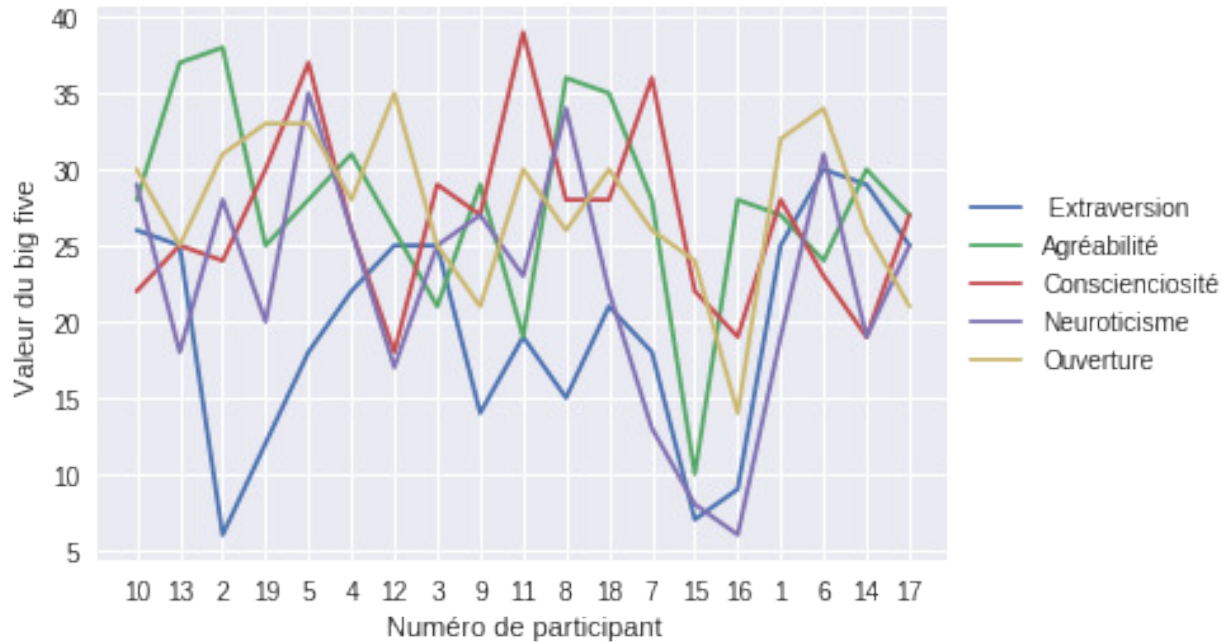


FIGURE 5.4. Valeur du questionnaire big five pour chaque participant. Les participants sont ordonnés en fonction de la proximité de leurs mesures cérébrales durant l'expérience.

De plus, une analyse des vidéos présentées dans l'environnement P360 a été effectuée. La figure 5.5 représente l'intérêt moyen des participants durant l'écoute de vidéos publicitaires. Les cinq vidéos présentées mettent en valeur les produits Apple et Samsung pour leur téléphone cellulaire. Trois vidéos mettant en valeur le téléphone Iphone 7 plus et Iphone 7 d'Apple, avec les publicités intitulées *The city*, *Take mine* et *Sticker fight*. Les deux autres vidéo mettent en valeur les téléphones Samsung J7 Max et Samsung J7 Pro. De plus, chaque vidéo a été divisé en quatre sections pour faire l'analyse, soit l'introduction, le développement, la conclusion et l'affichage de la marque.

Il est donc possible de remarquer à la figure 5.5 que l'intérêt moyen pour l'introduction et le développement sont relativement similaire entre toutes les vidéos présentées. Il est aussi possible de voir que l'intérêt moyen est maximal dans l'introduction pour la vidéo *Take mine* en comparaison aux vidéos Apple et pour la vidéo *J7 Pro* pour les produits Samsung. L'intérêt est maximal pour la vidéo *The city* et *J7 Max* en comparaison avec leurs marques respectives pour la partie développement. La section conclusion a la plus grande écart entre l'intérêt moyen avec la vidéo *Take mine* qui est nettement sous toutes les autres vidéos. La conclusion du vidéo *The city* est la section qui capte le plus d'intérêt parmi toutes les vidéos.

Finalement, l’affichage de la marque qui obtient le plus d’intérêt des participants est celle du vidéo *J7 Max*.

Ce type de figure peut donc être bien pratique pour sélectionner la publicité vidéo qui respecte le mieux les objectifs désirés (par exemple : avoir l’intérêt maximal sur l’affichage de la marque).

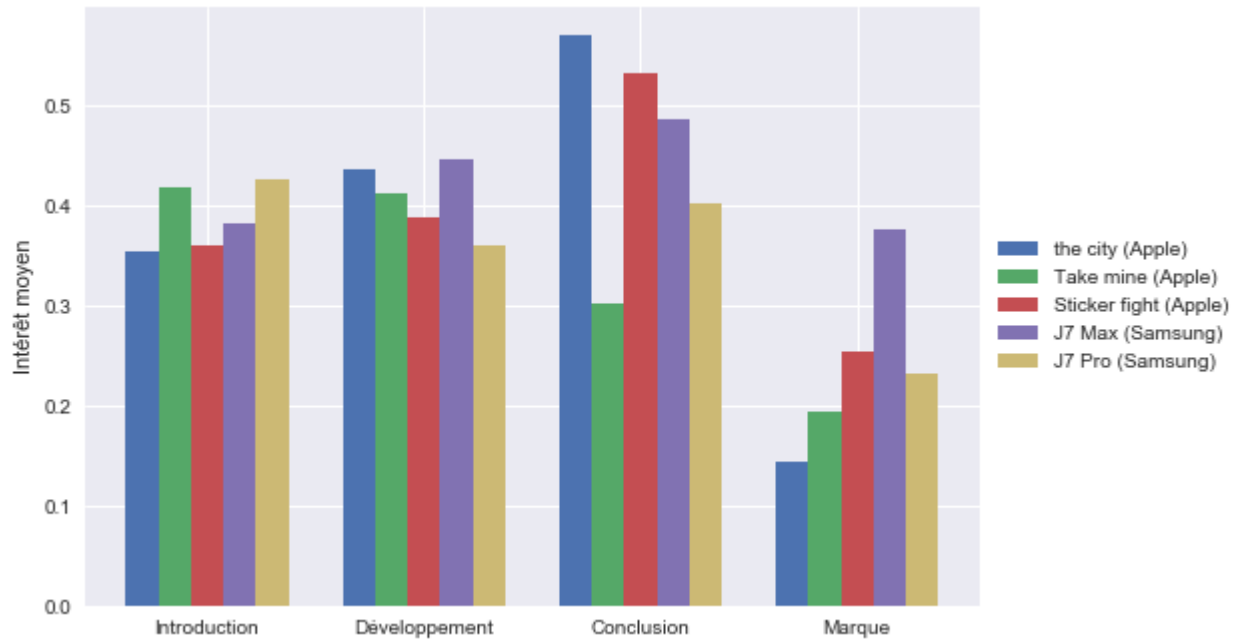


FIGURE 5.5. Intérêt moyen des participants durant l’écoute de vidéo publicitaire.

La figure 5.6 illustre l’intérêt moyen des participants pour les vidéos mettant en vedette les produits Apple et les produits Samsung en fonction de leurs intérêts à priori de ces deux compagnies. Le but de cette figure est de visualiser si l’intérêt à priori est plus importante que l’intérêt que le stimulus est en mesure d’aller chercher chez le spectateur. La figure 5.6 montre que l’intérêt du stimulus semble plus important que l’intérêt à priori. En effet, pour les partisans de la marque Apple, plus l’intérêt pour ce produit est présent et plus l’intérêt durant l’écoute des vidéos publicitaires est élevé en comparaison avec les vidéos de Samsung. Pour ce qui est des participants sans préférence, l’intérêt de ceux-ci a été la même pour les deux marques. Par contre, pour les participants préférant Samsung, il n’est plus possible de voir que l’intérêt à priori à une influence sur l’intérêt durant l’écoute. Bref, les vidéos de Apple ont été en mesure d’obtenir plus d’intérêt en moyenne que les vidéos de Samsung, cela malgré la préférence à priori des participants.

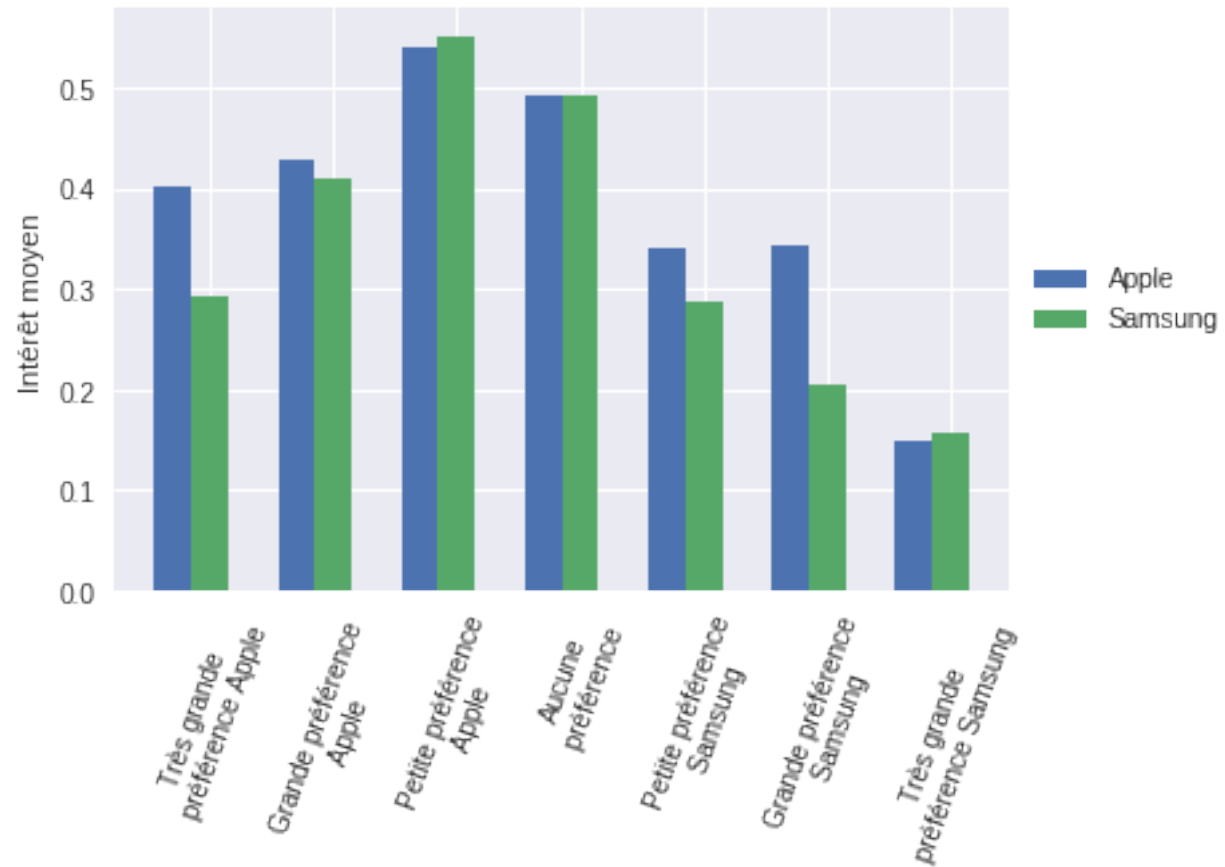


FIGURE 5.6. Intérêt moyen entre les vidéos des marques Apple et Samsung en fonction de la différence d'intérêt à priori des participants.

# Chapitre 6

---

## CONCLUSION

### 6.1. CONCLUSION

Les deux objectifs de cette recherche étaient la création d'un indice d'intérêt et l'analyse de différentes stratégies de conviction pour déterminer leur effet sur l'intérêt. Une expérience a été réalisée dans laquelle 19 participants ont observé des objets en réalité virtuelle. Des mesures électroencéphalogramme ont été prises pendant l'expérience et les participants ont déclaré leur intérêt par rapport à tous les différents objets présentés.

Par la suite, un système d'apprentissage machine K-PPV a été entraîné sur les données collectées pour créer un indice d'intérêt. Les résultats obtenus sur l'ensemble de test sont de 66% pour la précision moyenne, 45% pour la sensibilité moyenne et 51% pour la F-mesure moyenne.

Ensuite, le test ANOVA a été réalisé pour les quatre stratégies de conviction utilisées dans l'expérience (rabais, comparaison, position et mauvais choix). Les résultats montrent qu'aucune de ces stratégies n'a été en mesure de modifier l'intérêt des participants de façon significative.

Trois pistes solutions semblent pouvoir expliquer les résultats obtenus. La première piste de solution serait d'obtenir un plus grand nombre de mesures. En effet, l'augmentation du nombre d'exemples pour l'entraînement d'apprentissage automatique aide à l'augmentation de la précision et sensibilité de celui-ci. Le nombre de mesures peut être augmenté de deux façons. La première solution est d'augmenter le nombre de participant lors de la collecte de données. La deuxième méthode est une meilleure division du nombre de mesures lors de l'expérience. En effet, l'expérience faite dans cette recherche à séparer le temps de mesure de façons égales entre les mesures utilisé pour obtenir l'indice d'intérêt et les quatre stratégies de convictions. Par contre, l'analyse des données a rapidement montré que le nombre de données nécessaires à la création de l'indice d'intérêt est fortement supérieur au nombre de données nécessaires pour l'analyse de l'effet des stratégies de conviction.

La deuxième piste de solution proviendrait de l'autodéclaration de l'intérêt des participants. Il se peut qu'un trop grand nombre d'autodéclarations ne représente pas précisément l'intérêt que les participants ressentaient réellement. Les niveaux d'intérêt déclarés par les participants ont été utilisés comme étiquette lors de l'apprentissage automatique. Ainsi, un nombre non significatif de mauvaise autodéclaration peut être présent sans affecter trop grandement les résultats du système. Par contre, si un nombre de mauvaises étiquettes est trop élevé, alors les résultats de l'apprentissage automatique en seront affectés.

Troisièmement, une plus grande sélection d'objets aurait probablement aidé l'obtention de résultats plus concluants lors de l'entraînement de l'apprentissage machine. En effet, l'utilisation d'une plus grande variété de stimulus visuel différent aurait potentiellement augmenté la variété de niveau d'intérêt mesuré. La sélection d'uniquement trois ensembles d'objets (voiture, moto et fusil futuriste) a été déterminé pour permettre au participant de comparer les différents objets présentés lors des stratégies de conviction. Par contre, les données utilisées pour la détermination de l'indice d'intérêt n'ont pas besoin de ce type de comparaison.

## 6.2. TRAVAUX FUTURS

Il serait intéressant de faire une étude connexe à celle-ci dans laquelle les participants auraient pour objectif de feindre un faible intérêt, et ce, même pour un objet qui les intéresse fortement. Cela permettrait de voir si le fait de manifester un faible intérêt affecte les ondes cérébrales des humains ou s'il est possible de découvrir la vérité absolue grâce aux mesures EEG. Ces résultats seraient particulièrement intéressants dans un contexte de négociation, où le négociateur cache habituellement son intérêt réel pour aider la négociation et ainsi réduire les prix.

Une analyse plus précise temporellement serait aussi intéressante. En effet, l'analyse de l'intérêt a été faite selon l'ensemble (prix, apparence, caractéristique, etc.) pour chaque objet présenté. Il serait donc intéressant de faire l'analyse dans laquelle l'intérêt pour chacune de ses caractéristiques est déterminé. Il serait donc possible de mesurer pourquoi l'intérêt d'un participant en est ainsi. Bref, si uniquement une caractéristique diminue l'intérêt de celui-ci, ou si la présentation en entier de l'objet n'intéresse pas le participant). En raffinant de plus en plus la précision temporelle des mesures, il sera possible de faire l'analyse en temps réel. De plus, il sera alors possible d'ajouter un agent intelligent qui permettra de modifier les sections qui intéressent le moins l'utilisateur.



# Bibliographie

---

- [1] Connaissez-vous la méthode aida dans le domaine du marketing, de la publicité ou de la vente ? <http://www.strategiemarketingpme.com/strategies/connaissez-vous-la-methode-aida-dans-le-domain> 2015. Accessed : 2018-06-21.
- [2] Sudharsan ASAITHAMBI : Why, how and when to apply feature selection. <https://towardsdatascience.com/why-how-and-when-to-apply-feature-selection-e9c69adfabf2>. Accessed : 2018-07-18.
- [3] Alain d' ASTOUS : *Le projet de recherche en marketing*. Chenelière/McGraw-Hill, Montréal, 2e éd.. édition, 2000.
- [4] Jason BROWNLEE : An introduction to feature selection. <https://machinelearningmastery.com/an-introduction-to-feature-selection/>. Accessed : 2018-07-18.
- [5] Postes CANADA : La neuroscience explique le pouvoir d'incitation à l'action du publipostage. [https://www.canadapost.ca/assets/pdf/blogs/CPC\\_Neuroscience\\_FR\\_150717.pdf](https://www.canadapost.ca/assets/pdf/blogs/CPC_Neuroscience_FR_150717.pdf), 2015.
- [6] François CHOLLET *et al.* : Keras. <https://keras.io>, 2015.
- [7] James A COAN et John JB ALLEN : Frontal eeg asymmetry and the behavioral activation and inhibition systems. *Psychophysiology*, 40(1):106–114, 2003.
- [8] Richard J DAVIDSON : Cerebral asymmetry and emotion : Conceptual and methodological conundrums. *Cognition & Emotion*, 7(1):115–138, 1993.
- [9] Richard J DAVIDSON et Maureen RICKMAN : Behavioral inhibition and the emotional circuitry of the brain : Stability and plasticity during the early childhood years. 1999.
- [10] Jr EDWARD K. STRONG : *The psychology of selling and advertising*. McGraw-Hill Book compagny, Inc, 1925.
- [11] Nathan A FOX : If it's not left, it's right : Electroencephalograph asymmetry and the development of emotion. *American psychologist*, 46(8):863, 1991.
- [12] W. FREEMAN et R.Q. QUIROGA : *Imaging Brain Function With EEG, Advanced Temporal and Spatial Analysis of Electroencephalographic Signals*. Springer, 2013.
- [13] Understanding the marketing funnel | feedough. <https://www.feedough.com/marketing-funnel>, 2017-08-02. Accessed : 2018-05-09.
- [14] A game you can control with your mind. <http://www.neurable.com/news/game-you-can-control-your-mind>, 2017. Accessed : 2018-05-10.

- [15] Martin HEYDEN : Classification of eeg data using machine learning techniques. Mémoire de D.E.A., Lund University, Sweden, 2016.
- [16] Biocybernaut INSTITUTE : Eeg - electroencephalograph. <http://www.edumed.org.br/cursos/neurociencia/cdrom/Biblioteca/EEGHistory.htm>. Accessed : 2018-11-11.
- [17] Majken Elg JENSEN : Neuromarketing – friend or foe ? <https://archive.tedx.amsterdam/2015/09/neuromarketing-friend-or-foe/>. Accessed : 2018-11-11.
- [18] Rami N KHUSHABA, Chelsea WISE, Sarath KODAGODA, Jordan LOUVIERE, Barbara E KAHN et Claudia TOWNSEND : Consumer neuroscience : Assessing the brain response to marketing stimuli using electroencephalogram (eeg) and eye tracking. *Expert Systems with Applications*, 40(9):3803–3812, 2013.
- [19] Michael KOENIGS et Daniel TRANEL : Prefrontal cortex damage abolishes brand-cued changes in cola preference. *Social cognitive and affective neuroscience*, 3(1):1–6, 2007.
- [20] Simone KÜHN et Jürgen GALLINAT : Does taste matter ? how anticipation of cola brands influences gustatory processing in the brain. *PloS one*, 8(4):e61569, 2013.
- [21] Doumbouya René LANCINÉ : Analyse des émotions dans un jeu vidéo. Mémoire de D.E.A., Université de Montréal, Montréal, Canada, 2016.
- [22] Lucie Petegnief Olivier Rochecouste LOUIS MAYAUD, Sabine Filipe et Marco CONGEDO : Robust brain- computer interface for virtual keyboard (robik) : project results. *IRBM, Elsevier Masson*, 34(2):131–138, 2013.
- [23] Cathy MCPHILLIPS : A simple plan for measuring the marketing effectiveness of content. <https://contentmarketinginstitute.com/2014/07/simple-plan-measuring-marketing-effectiveness-of-content> 2014-06. Accessed : 2018-07-30.
- [24] Neurosky store, mindflex. <https://store.neurosky.com/products/mindflex>, 2018. Accessed : 2018-06-21.
- [25] Communauté métropolitaine de MONTRÉAL : Grand montréal en statistique. <http://cmm.qc.ca/donnees-et-territoire/observatoire-grand-montreal/produits-statistiques/grand-montreal-en-statistiques/?t=2&st=27&i=10&p=2016&e=2>. Accessed : 2018-07-17.
- [26] Les neurosciences au secours de la pub. [https://www.lemonde.fr/societe/article/2009/03/27/les-neurosciences-au-secours-de-la-pub\\_1173500\\_3224.html#ens\\_id=1173534](https://www.lemonde.fr/societe/article/2009/03/27/les-neurosciences-au-secours-de-la-pub_1173500_3224.html#ens_id=1173534), 2018. Accessed : 2018-06-18.
- [27] Adrian C NORTH, David J HARGREAVES et Jennifer MCKENDRICK : The influence of in-store music on wine selections. *Journal of Applied psychology*, 84(2):271, 1999.
- [28] Rafal OHME, Dorota REYKOWSKA, Dawid WIENER et Anna CHOROMANSKA : Application of frontal eeg asymmetry to advertising research. *Journal of Economic Psychology*, 31(5):785–793, 2010.
- [29] F. PEDREGOSA, G. VAROQUAUX, A. GRAMFORT, V. MICHEL, B. THIRION, O. GRISEL, M. BLONDEL, P. PRETTENHOFER, R. WEISS, V. DUBOURG, J. VANDERPLAS, A. PASSOS, D. COURNAPEAU, M. BRUCHER, M. PERROT et E. DUCHESNAY : Scikit-learn : Machine learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12:2825–2830, 2011.

- [30] Randomization in statistics and experimental design. <http://www.statisticshowto.com/randomization-experimental-design/>, 2018. Accessed : 2018-06-18.
- [31] C. Saron J. Bennett D.J. Goleman R.J. DAVIDSON, G.E. Schwartz : Frontal versus parietal eeg asymmetry during positive and negative affect. *Psychophysiology*, (16):202–203, 1979.
- [32] C. Saron J. Bennett D.J. Goleman R.J. DAVIDSON, G.E. Schwartz : Frontal versus parietal eeg asymmetry during positive and negative affect. *Psychophysiology*, (16):202–203, 1979.
- [33] Alejandro RODRIGUEZ ORTEGA, Beatriz REY SOLAZ, Alcañiz RAYA et Mariano LUIS : Validation of a low-cost eeg device for mood induction studies. In *Annual review of cybertherapy and telemedicine*, volume 11, pages 43–47. Interactive Media Institute (IMI), 2013.
- [34] Amin SHAHAB : Using Electroencephalograms to Interpret and Monitor the Emotions. Mémoire de D.E.A., Université de Montréal, Montréal, Canada, 2017.
- [35] Jyrki SUOMALA, Lauri PALOKANGAS, Seppo LEMINEN, Mika WESTERLUND, Jarmo HEINONEN et Jussi NUMMINEN : Neuromarketing : understanding customers’ subconscious responses to marketing. *Technology Innovation Management Review*, 2(12):12, 2012.
- [36] Thorsten O ZANDER et Christian KOTHE : Towards passive brain–computer interfaces : applying brain–computer interface technology to human–machine systems in general. *Journal of neural engineering*, 8(2):025005, 2011.
- [37] Édition LAROUSE : <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais>. Accessed : 2018-04-30.



# Annexe A

---

## FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT

**Titre de la recherche :** Détection et contrôle des indices émotionnels dans des supports publicitaires.

**Chercheurs :** Maxime Isabelle, *étudiants M. Sc.*

**Directeur du Laboratoire :** Claude Frasson, *Professeur titulaire, DIRO, Université de Montréal.*

Vous êtes invité à participer à un projet de recherche. Avant d'accepter, veuillez prendre le temps de lire ce document présentant les conditions de participation au projet.

### A) RENSEIGNEMENTS AUX PARTICIPANTS

---

#### 1. Objectifs de la recherche.

Ce projet de recherche vise à étudier les réactions émotionnelles et cérébrales développées par des supports publicitaires. Nous souhaitons détecter les différentes émotions qui se manifestent lors d'un regard sur un objet ou une publicité, ainsi que leur évolution dans le temps. Pour cela on mesurera l'activité cérébrale au moyen de capteurs physiologiques, soit un casque d'électroencéphalogrammes (EEG) léger. Le support visuel sera disponible dans un environnement de réalité virtuelle affichable dans un casque de réalité virtuelle (RV).

#### 2. Participation à la recherche

Votre participation à cette recherche consiste tout d'abord à passer un test de personnalité et sur vos émotions initiales. On procédera à l'installation des casques EEG et RV. Ensuite vous choisirez certains objets et regarderez quelques publicités pendant environ 30 mn, durant lesquelles on enregistrera votre *activité cérébrale* (EEG). Enfin vous répondrez à un test final des connaissances. L'expérience se déroulera dans un local du département d'informatique de l'Université de Montréal et durera environ 1h.

#### 3. Risques et inconvénients

L'utilisation des capteurs physiologiques est indolore et sans risque. Il est possible que l'utilisation du casque RV occasionne un peu de fatigue visuelle de la même manière que pour les films en 3D. Vous pouvez à tout moment interrompre l'expérience.

#### **4. Avantages et bénéfices**

Il n'y a pas d'avantage particulier à participer à ce projet. En participant à cette recherche, vous pourrez contribuer à l'avancement des connaissances. Vous bénéficierez d'un montant de 20\$ qui vous seront remis à la fin de l'expérience.

#### **5. Confidentialité**

Les renseignements que vous nous donnerez demeureront confidentiels. Chaque participant de l'étude se verra attribuer un numéro d'identification. Aucune information permettant de vous identifier d'une façon ou d'une autre ne sera publiée. Ces données seront conservées durant sept ans, conformément à la politique habituelle de l'Université de Montréal. Après ce délai, elles seront totalement détruites.

#### **6. Compensation**

Pour vous remercier de votre participation, 20\$ vous seront remis à la fin de l'expérience.

#### **7. Droit de retrait**

Votre participation est entièrement volontaire. Vous êtes libre de vous retirer en tout temps par avis verbal, sans préjudice et sans devoir justifier votre décision. Si vous décidez de vous retirer de la recherche, vous pouvez communiquer avec l'assistant de recherche, au numéro de téléphone indiqué à la page suivante du formulaire. À votre demande, tous les renseignements qui vous concernent pourront aussi être détruits. Cependant, après le déclenchement du processus de publication, il sera impossible de détruire les analyses et les résultats portant sur vos données.

### **B) CONSENTEMENT**

---

#### **Déclaration du participant**

Je déclare avoir pris connaissance des informations ci-dessus, avoir obtenu les réponses à mes questions sur ma participation à la recherche et comprendre le but, la nature, les avantages, les risques et les inconvénients de cette recherche. Je reconnais avoir reçu des informations complémentaires de façon orale sur l'environnement expérimental choisi. Je déclare aussi ne pas porter de pacemaker, être sujet à l'épilepsie ou aux vertiges.

Environnement expérimental choisi et expliqué au participant

☒ E1 : jeu de situations cognitives

☐ E2 : jeu vidéo de suspense compétitif ou collaboratif

Après réflexion et un délai raisonnable, je consens librement à prendre part à cette recherche. Je sais que je peux me retirer en tout temps sans préjudice et sans devoir justifier ma décision.

Signature du participant : \_\_\_\_\_ Date : \_\_\_\_/\_\_\_\_/2018

Nom : \_\_\_\_\_ Prénom : \_\_\_\_\_

**Engagement du chercheur**

Je déclare avoir expliqué le but, la nature, les avantages, les risques et les inconvénients de l'étude et avoir répondu au meilleur de ma connaissance aux questions posées. Je leur ai indiqué que la participation au projet de recherche est libre et volontaire et que leur participation peut être cessée en tout temps.

Signature du chercheur \_\_\_\_\_ Date : \_\_\_\_/\_\_\_\_/2018

Nom : Isabelle \_\_\_\_\_ Prénom : Maxime \_\_\_\_\_

Pour toute question relative à la recherche, ou pour vous retirer de la recherche, vous pouvez communiquer avec Maxime Isabelle à l'adresse courriel suivante : [maxime.isabelle@umontreal.ca](mailto:maxime.isabelle@umontreal.ca)

Pour toute préoccupation sur vos droits ou sur les responsabilités des chercheurs concernant votre participation à ce projet, vous pouvez contacter le Comité d'éthique de la recherche en arts et en sciences par courriel à l'adresse [ceras@umontreal.ca](mailto:ceras@umontreal.ca) ou par téléphone au 514 343-7338 ou encore consulter le site Web <http://recherche.umontreal.ca/participants>.

Toute plainte relative à votre participation à cette recherche peut être adressée à l'ombudsman de l'Université de Montréal, au numéro de téléphone (514) 343-2100 ou à l'adresse courriel [ombudsman@umontreal.ca](mailto:ombudsman@umontreal.ca). (L'ombudsman accepte les appels à frais virés).

**Un exemplaire du formulaire de consentement signé doit être remis au participant**





# Annexe B

---

## PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

### PRÉ-EXPÉRIENCE

1. Installer le participant dans une chaise à roulette.
2. Signature du formulaire de consentement.
3. Remplir le formulaire Big 5 et formulaire de pré-expérience.
4. Explication du déroulement de l'expérience et la possibilité de se retirer à tout moment.
5. Installation du casque EEG Emotiv.
6. Installation du casque VR Oculus.
7. Partir les mesures EEG ainsi que l'expérience P360.

### EXPÉRIENCE

1. Scène de calibration.
  - 10 secondes de mesure de EEG sur un fond d'écrans gris uniforme pour la calibration.
2. Scène de sélection d'objets.
  - Pour chaque stratégie (5), le participant devra sélectionner l'objet qui l'intéresse le plus. Et ce, pour les trois ensembles d'objets (voiture, moto, fusil).
3. Scène de publicité vidéo.
  - Le participant regardera cinq vidéos publicitaires qui sont séparées par 5 secondes où l'image est grise.

## POST-EXPÉRIENCE

1. Fermeture des logicielles (mesure EEG et P360).
2. Retirer les appareils (Oculus et Emotiv).
3. Faire remplir le formulaire post-expérience.
4. Faire une sauvegarde des données mesurées.
5. Faire un reçu pour le participant et le payer.
6. Demandé de ne pas parler de l'expérience aux autres futurs participants.

# Annexe C

## FORMULAIRE PRÉ-EXPÉRIENCE

### Formulaire Big five

Rating	I....	Rating	I....
	1. Am the life of the party.		26. Have little to say.
	2. Feel little concern for others.		27. Have a soft heart.
	3. Am always prepared.		28. Often forget to put things back in their proper place.
	4. Get stressed out easily.		29. Get upset easily.
	5. Have a rich vocabulary.		30. Do not have a good imagination.
	6. Don't talk a lot.		31. Talk to a lot of different people at parties.
	7. Am interested in people.		32. Am not really interested in others.
	8. Leave my belongings around.		33. Like order.
	9. Am relaxed most of the time.		34. Change my mood a lot.
	10. Have difficulty understanding abstract ideas.		35. Am quick to understand things.
	11. Feel comfortable around people.		36. Don't like to draw attention to myself.
	12. Insult people.		37. Take time out for others.
	13. Pay attention to details.		38. Shirk my duties.
	14. Worry about things.		39. Have frequent mood swings.
	15. Have a vivid imagination.		40. Use difficult words.
	16. Keep in the background.		41. Don't mind being the center of attention.
	17. Sympathize with others' feelings.		42. Feel others' emotions.
	18. Make a mess of things.		43. Follow a schedule.
	19. Seldom feel blue.		44. Get irritated easily.
	20. Am not interested in abstract ideas.		45. Spend time reflecting on things.
	21. Start conversations.		46. Am quiet around strangers.
	22. Am not interested in other people's problems.		47. Make people feel at ease.
	23. Get chores done right away.		48. Am exacting in my work.
	24. Am easily disturbed.		49. Often feel blue.
	25. Have excellent ideas.		50. Am full of ideas.

[En] What is your level of interest in these products. [Fr] Quel est votre niveau d'intérêt envers ces produits.

	Not at all - Aucune	Slightly - Légèrement	Moderately - Modérément	Very - Grandement	Extremely - Extrêmement
Cellphone - Téléphone cellulaire	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Car - Auto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bike - Moto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gun - Arme à feu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

[En] What is your level of interest in these cellphones brands. [Fr] Quel est votre niveau d'intérêt envers ces marques de téléphones cellulaires.

	Not at all - Aucune	Slightly - Légèrement	Moderately - Modérément	Very - Grandement	Extremely - Extrêmement
Apple	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Samsumg	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

[En] What is your level of interest in these car brands. [Fr] Quel est votre niveau d'intérêt envers ces marques d'automobile.

	Not at all - Aucune	Slightly - Légèrement	Moderately - Modérément	Very - Grandement	Extremely - Extrêmement
Mazda	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ford	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Scion	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Volkswagen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

[En] What is your level of interest in these bike brands. [Fr] Quel est votre niveau d'intérêt envers ces marques de moto.

	Not at all - Aucune	Slightly - Légèrement	Moderately - Modérément	Very - Grandement	Extremely - Extrêmement
Suzuki	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Honda	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Harley	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
BMW	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

[En] How much does advertising influence you? [Fr] À quel point les publicités vous influence?

	1	2	3	4	5	
Not at all - Aucune	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Extremely - Extrêmement

## Annexe D

---

### FORMULAIRE POST-EXPÉRIENCE

[En] Your name. [Fr] Votre nom. \*

Votre réponse

[En] Your gender. [Fr] Votre sexe. \*

- ☐ Female/Femme
- ☐ Male/Homme

[En] How old are you. [Fr] Quel est votre age. \*

Votre réponse

[En] Which set of object have you find most interesting? [Fr] Quel ensemble d'objet vous à le plus intéressé? \*

- ☐ Car - Auto
- ☐ Bike - Moto
- ☐ Gun - Arme à feu
- ☐ None - Aucun

[En] If possible, name the car you find most interesting? [Fr] Si possible, nommer la voiture qui vous à le plus intéressé? \*

Votre réponse \_\_\_\_\_

[En] If possible, name the bike you find most interesting? [Fr] Si possible, nommer la moto qui vous à le plus intéressé?

Votre réponse \_\_\_\_\_

[En] If possible, name the gun you find most interesting? [Fr] Si possible, nommer l'arme qui vous à le plus intéressé?

Votre réponse \_\_\_\_\_

[En] Which sales strategy has convinced you the most? [Fr] Quel stratégie de vente vous a le plus convaincu? \*

- ☐ Discount - Rabais
- ☐ Incentive phrase - Phrase incitative
- ☐ Neither - Aucune

[En] Which brand has convinced you more? [Fr] Quelle marque vous a davantage convaincu? \*

- ☐ Apple
- ☐ Samsung
- ☐ Neither - Aucun

[En] If possible, which advertisement convinced you more? [Fr] Si possible, quelle publicité qui vous a davantage convaincu?

Votre réponse \_\_\_\_\_

[En] What is your level of interest for the object above. [Fr] Quel est votre niveau d'intérêt pour l'objet ci-dessus? \*

- ☐ Not at all - Aucune
- ☐ Slightly - Légèrement
- ☐ Moderately - Modérément
- ☐ Very - Grandement
- ☐ Extremely - Extrêmement

[En] Selected ALL the actions you would like to take in relation to the object above. [Fr] Sélectionné TOUS les actions que vous voudriez entreprendre par rapport à l'objet ci-dessus. \*

- ☐ None - Aucune
- ☐ Compare price - Comparer le prix avec d'autres articles similaires
- ☐ Add to wish list - Ajouter à une liste d'envies
- ☐ Share on social media - Partager sur les médias sociaux
- ☐ See customer reviews - Voir les commentaires des clients
- ☐ Be called by a representative - Être appelé par un représentant
- ☐ Subscribe to the newsletter - S'inscrire à l'infolettre
- ☐ Receive a catalog - Recevoir un catalogue
- ☐ Test the object - Faire un essai
- ☐ Buy - Acheter
- ☐ Preorder - Pré-commander